Aus der Abteilung für Kieferorthopädie
Ärztliche Direktorin: Professor Dr. D. Dausch-Neumann
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

UNTERSUCHUNG DER ABHÄNGIGKEIT SKELETTALTER – ZAHNALTER

HANDRÖNTGENAUFNAHMEN UND ÜBERSICHTS-RÖNTGENAUFNAHMEN DES GESICHTSSCHÄDELS AN 32 MÄDCHEN UND 30 KNABEN ZUM ZEITPUNKT DES MAXIMALEN PUBERALEN WACHSTUMSSCHUBS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt
von
Hans-Dieter Gönner
aus
Karlsruhe

1980

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie
Ärztliche Direktorin: Professor Dr. D. Dausch-Neumann
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

UNTERSUCHUNG DER ABHÄNGIGKEIT SKELETTALTER – ZAHNALTER

HANDRÖNTGENAUFNAHMEN UND ÜBERSICHTS-RÖNTGENAUFNAHMEN DES GESICHTSSCHÄDELS AN 32 MÄDCHEN UND 30 KNABEN ZUM ZEITPUNKT DES MAXIMALEN PUBERALEN WACHSTUMSSCHUBS

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt
von
Hans-Dieter Gönner
aus
Karlsruhe

1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H. Heimann
Berichterstatter: Professor Dr. D. Dausch-Neumann

FOTODRUCK H. RESCH · Georgstr. 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

Denjenigen, die mir meine

Ausbildung ermöglichten

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549627_0013

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. Einleitung und Problemstellung

A) Der allgemeine Begriff der "physiologischen Reife" nach A.F. BOAS 1

a) Maßstäbe zur Bestimmung des physiologischen Entwicklungsstandes:

1. das Alter nach den sekundären Geschlechtsmerkmalen 2

2. das Zahnalter 3

3. das Skelettalter 3

4. das morphologische Alter oder das Proportionsalter 4

b) Beziehungen zwischen den verschiedenen Reifemaßen 4,5

B) Vorüberlegungen zur optimalen Untersuchung einer Abhängigkeit von Zahnalter und Skelettalter:

a) Zahnalter und Skelettalter in mathematischer Sicht 6-9

b) der biologische Spielraum 10

c) Festlegung eines zeitlichen Fixpunktes 11

d) die Wahl des Fixpunktes "maximaler puberaler Wachstumsschub" 11,12

II. Literaturübersicht

Seite

a) Theoretische Grundlagen zur Einschätzung der skelettalen Reife:

1. W.W. GREULICH / S. PYLE — 14
   Röntgenstandards
2. A. BJÖRK — 14-17
   Reifestadien der Hand
   Wachstumskurve
3. K.C. GRAVE / T. BROWN — 18
   puberale Wachstumsgeschwindigkeit
   im "craniofacialen" Bereich
4. J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE — 18-29
   biologische Gewichtung
   der "einzelnen Knochen"

b) Theoretische Grundlagen zur Beurteilung des Zahnalters:

1. C.F.A. MOORES / BOSTON — 31-33
   Funktion: Punktwert - Lebensalter
   (für den einzelnen Zahn)
2. P.M. SCHOPF / Frankfurt — 34,35
   Mineralisationsstadien (n = 10)
3. GAT / A. HASUND — 36-38
   Funktion: Punktesumme - Lebensalter
   (für alle Zähne)
4. A. DEMIRJIAN / H. GOLDSTEIN / I.M. TANNER — 39-45
   Differenzierung durch Gewichtung
   der "einzelnen" Zähne

III. Untersuchungen

Seite

A) Material

a) Studie an 12- jährigen Schülerinnen bzw. 14- jährigen Schülern 46

b) Technische Geräte und ihre Verwendung

1. Orthopanthomograph (Siemens) 47-49
2. Siemens-Dentalröntgenröhre (Optidentzeitschaltuhr) 50-52
3. Rollenentwicklungsmaschine 53
4. Röntgenbildbetrachter und Vergrößerungsglas 54,55

B) Angewandte Methoden

a) Bestimmung der skelettalen Reife aus den Röntgenaufnahmen der Hand- und Handwurzel

1. nach A. BJÖRK 56
2. nach W.W. GREULICH / S. PYLE 56
3. nach J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE 57
4. nach eigenem Verfahren: Mittelwertbildung aus GREULICH / PYLE und TANNER / WHITEHOUSE 57

$$S = \frac{A_{GP} + A_{TW} - 1}{2}$$

Seite

b) Bestimmung des Zahnalters nach den Übersichtsröntgenaufnahmen des Gesichtsschädels:

1. nach A. DEMIRJIAN (Z_1) 58

2. nach eigenem Verfahren (Z_2) kombinierte Methode -P.M. SCHOPF / A. HASUND 59

c) Herstellung einer Beziehung zwischen Skelettalter und Zahnalter 59

1. über Streudiagramme

2. mit Hilfe statistischer Methoden, der Gleichung der Regressionsgeraden, bzw. des Korrelationskoeffizienten

IV. Ergebnisse

A) Gesamtzusammenstellung der zur Skelettalterbestimmung, Zahnalterbestimmung bzw. Bestimmung der Beziehung Skelettalter - Zahnalter verwendeten Tabellen, Schaubilder und Streudiagramme 61-63

Tabellen ... 64-77

Schaubilder ... 79-81

Streudiagramme ... 82-89

Seite

B) Die Ergebnisse und ihre Auswertung

a) bei der Skelettalterbestimmung 90- 94

b) bei der Zahnalterbestimmung 95- 97

c) bei der Bestimmung der Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter 98-112

V. Diskussion 113-118

VI. Zusammenfassung und Ausblick 119-127

VII. Literaturverzeichnis 129-134

VIII. Bilderatlas 135-259

I. Einleitung und Problemstellung

A) A.F. BOAS und der allgemeine Begriff der "physiologischen Reife"

A.F. BOAS (1,2) von der Columbia University definierte als erster Forscher Ende des letzten Jahrhunderts den allgemeinen Begriff der "physiological maturity".

Er war es, der die großen Unterschiede bei Kindern desselben chronologischen Alters im "Grad der Reife" feststellte, sowohl was die Körperform, die physiologischen Funktionen, als auch das soziale Verhalten anging.

Die Verschiedenheit des Reifegrades zwischen den Geschlechtern - die ja schon bei der Geburt erkennbar ist und in der frühen Pubertät der Mädchen ihren Höhepunkt erreicht - war für ihn eine besonders starke Ausprägung ähnlicher Unterschiede, wie sie sich innerhalb eines jeden Geschlechts zwischen den Individuen entwickeln.

Das besondere Verdienst von F. BOAS (1,2) bestand aber darin, daß er "Gedankengänge" entwickelte, mit deren Hilfe es möglich wurde, sinnvolle Maßstäbe zur Bestimmung der physiologischen Reife zu finden.

So entwarf er das Bild von der "Straße zur vollen Entwicklung", entlang der, bei jedem Individuum sogenannte "Meilensteine der Entwicklung" oder "Ereignisse" liegen, die früher oder später erreicht werden.

Mit Hilfe solcher definierter Ereignisse - so dem Ereignis der Menstruation bei den Mädchen, dem ersten Auftreten der Schambehaarung bei den Knaben oder dem Durchbruch der Zähne - die während des Wachstums bei allen normalen Einzelwesen auftreten - mußte es demnach möglich sein -

besser als mit den herkömmlichen Methoden, so z.B. der Längenbestimmung - die "physiologische Reife" des einzelnen Kindes zu erkennen.

Für F. BOAS (1,2) war deshalb ein Individuum, bei dem solch ein "besonderes Ereignis" schon eingetreten war, "reifer" als ein Individuum, bei dem dasselbe Ereignis noch auf sich warten ließ, wohingegen die Aussage, daß ein Kind für sein Alter "groß" war, nur einen begrenzten Wert hatte.

Es konnte so groß sein, weil es "reifer" war als die Gleichaltrigen, aber genausogut ein Kind von durchschnittlicher Reife sein, das genetisch bedingt, einmal ein großer Erwachsener wurde.

a) Maßstäbe zur Bestimmung des physiologischen Entwicklungsstandes:

1. das Alter nach den sekundären Geschlechtsmerkmalen

Aus den obigen Überlegungen heraus definierte F. BOAS (1,2) dann in Zusammenarbeit mit C.W. CRAMPTON (11) "das Alter nach den sekundären Geschlechtsmerkmalen" oder das "physiologische Alter" - mit den Stadieneinteilungen für die Entwicklung des Genitals, der Schambehaarung und der Brust.

2. das Zahnalter

Mit der Entdeckung der Röntgenstrahlen (1895) fanden die Gedankengänge von F. BOAS (1,2) dann Eingang bei den Forschungen zur Knochenentwicklung.

Verschiedene Stadien der Verkalkung der einzelnen Zähne - von der ersten Ausbildung einer Zahnkrone bis zur abschließenden Entwicklung einer vollständigen Zahnwurzel - lieferten eine "Serie" von Ereignissen, mit deren Hilfe, das bisherige grobe Kriterium für die Abschätzung der Gebißreife, der Zahndurchbruch, verfeinert werden konnte.

So konnte das sogenannte "Zahnalter" definiert werden als "das Alter von Einzelpersonen, das dem Entwicklungsstand ihres Gebisses entspricht".

3. das Skelettalter

Bei der Röntgendurchleuchtung der Hand erkannte H. von RANKE (31), daß die Verknöcherung der Epiphyse und der Knochenkerne von der Fetalzeit bis zur Pubertät nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten erfolgt.

Damit war die Grundlage gegeben für eine Definition des "Skelettalters", das den besten Einblick in die körperliche Entwicklung erlaubt.

Als "Skelettalter" bezeichnet man "das" Lebensalter, in dem beim Durchschnitt der Bevölkerung, verknöcherte, röntgenologisch nachweisbare Kerne, in gleicher Zahl, gleicher Größe und gleichem Differenzierungsgrad vorhanden sind wie beim untersuchten Kind.

4. das morphologische Alter (Proportionsalter)

Der Vollständigkeit halber soll noch ein weiteres Kriterium zur Bestimmung der körperlichen Reife erwähnt werden, das sogenannte "Proportionsalter" oder "morphologische Alter", das bestimmt wird mit Hilfe des Quotienten aus Oberlänge und Unterlänge.

Es beruht auf der Tatsache, daß im Verlauf der kindlichen Entwicklung die verschiedenen Körperteile nicht gleich schnell wachsen.
Aus diesem Grunde ergeben sich die bekannten Proportionsverschiebungen von Kopf, Rumpf und Extremitäten in den verschiedenen Lebensaltern.

Dieser Gestaltwandel wird von W. LENZ (26) in Form von Schaubildern aufgezeigt und von O. BUTENANDT (8) mit Hilfe von Quotientenkurven dargestellt.

b) Beziehungen zwischen den verschiedenen Reifemaßen

Von den verschiedenen Maßstäben des physiologischen Entwicklungsstandes lassen sich einige während der ganzen Wachstumsperiode anwenden, andere gelten nur für die Pubertät oder den mittleren Abschnitt des Wachstums.

Folgerichtig ergibt sich somit die Fragestellung:

Definieren alle diese Skalen die "gleiche" Art einer physiologischen Reife?

Hängt zum Beispiel die Frühentwicklung des bleibenden Gebisses von anderen Faktoren ab als die relativ frühe Verknöcherung des Skeletts? Anders ausgedrückt:

Entsprechen die Entwicklungsstadien der Zahnreife denen der Skelettreife?

Sowohl für die Zeit vor der Pubertät, als auch für die Zeit der Pubertät ist über die Wechselbeziehung von Zahnreife, Skelettreife bzw. morphologische Reife - zumeist ausgedrückt als der erreichte Prozentsatz der Erwachsenengröße - wenig bekannt.

Die gestellte Frage läßt sich relativ vollständig nur beantworten, was die Wechselbeziehung Skelettreife - Alter nach den sekundären Geschlechtsmerkmalen während der Pubertät angeht.

Hier besteht eine hohe Korrelation.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit besteht deshalb darin, herauszufinden - ob eine Abhängigkeit zwischen Skelettalter bzw. Zahnalter besteht und - in welchem Ausmaß die beiden Systeme miteinander korrelieren.

B) Vorüberlegungen zur optimalen Untersuchung einer Abhängigkeit von Zahnalter und Skelettalter

a) Zahnalter und Skelettalter in mathematischer Sicht

Zur Untersuchung einer Wechselbeziehung zwischen Skelettalter und Zahnalter mußten die beiden Maßstäbe zur Bestimmung der physiologischen Reife zunächst mathematisch exakt festgelegt werden.

Auf Grund von Beobachtungen der Körperlänge im Laufe des Lebens eines Kindes bis zum Erwachsenenalter kann die Funktion:

$G = G(t)$ $\quad t$ = Lebensalter

aufgestellt werden. (Abb. 1)

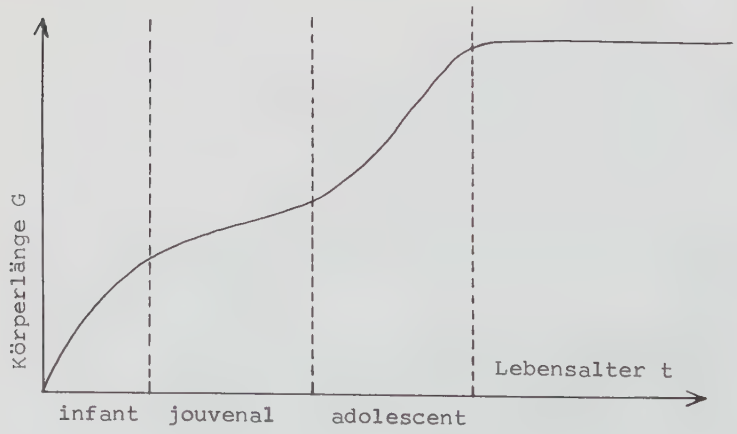


Abb. 1 Graphische Darstellung der Körperlänge

Da die absolute Körperlänge eines Erwachsenen u.a. genetisch bedingt ist, ist es sinnvoller, die "Änderung der Körpergröße pro / Zeiteinheit", das "sogenannte Wachstum" zu betrachten, das wiederum in hohem Maße mit der "Skelettreife" korreliert.

Es kann die "Wachstumskurve" $W = G'(t)$ als Ableitungsfunktion der Funktion G (t) aufgestellt werden. (Abb. 2)

Sie hat folgende Extremwertstellen:

t_{oK} = 14 Jahre bei Knaben,

bzw. t_{oM} = 12 Jahre bei Mädchen

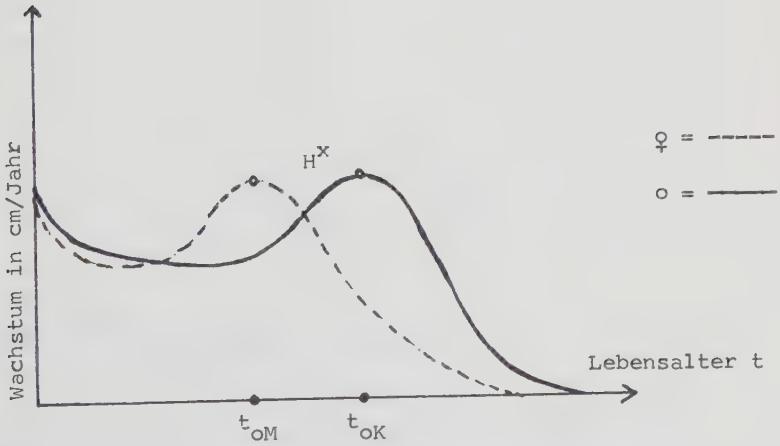


Abb. 2 Graphische Darstellung des Wachstums bei Jungen und Mädchen

t_o = Zeitpunkt des größten Wachstums

H^x = größtes Wachstum in cm/Jahr

Da diese Kurve aus zahlreichen Werten ermittelt wurde, ist der umgekehrte Weg, von einer bestimmten Stelle der Wachstumskurve aus, das Lebensalter abzulesen, nicht mehr möglich.

Gleichwohl ordnet eine bestimmte Stelle auf der Wachstumskurve dem Kind ein Alter zu, das über seine Gesamtentwicklung Entscheidendes aussagt - das "sogenannte Skelettalter".

Analog zur Betrachtung der Körpergröße in Abhängigkeit zum Lebensalter - kann nun der Entwicklungsstand des Gebisses in Form der "Punktesumme aller Zähne" - in Abhängigkeit zum Lebensalter gebracht werden. (Abb. 3)

Es kann die Funktion $Z = Z(t)$ aufgestellt werden.

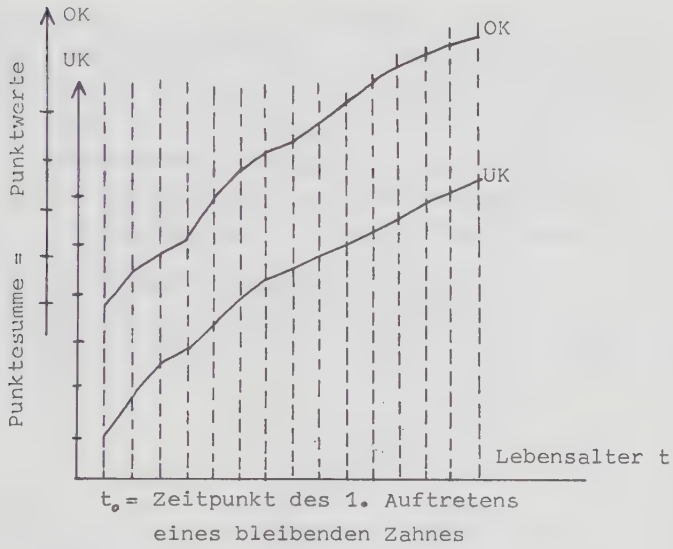


Abb. 3 Graphische Darstellung der Punktesumme aller Zähne

Die Kurve wurde aus den Mittelwerten der Punktesumme vieler Kinder ermittelt.

Dem einzelnen Kind kann somit entsprechend seiner Punktesumme eine Stelle auf der Kurve zugewiesen werden und damit ein Alter, das analog zu den Überlegungen beim Skelettalter - "Zahnalter" genannt wird.

b) der biologische Spielraum

Als weiterer Gesichtspunkt zur Untersuchung der Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter war der "biologische Spielraum" (Δ) zu berücksichtigen.

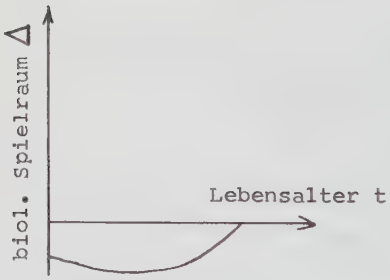
Ich möchte ihn definieren als Differenz von Skelettalter und Lebensalter:

Δ = Skelettalter - Lebensalter

wobei Δ sowohl positive als auch negative Werte annehmen kann.

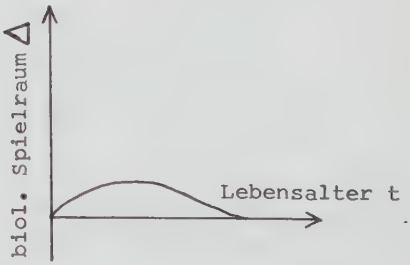
Ein Frühentwickler hat beispielsweise ein höheres Skelettalter als Lebensalter, daher ist das Δ positiv. Bei einem Spätentwickler ist das Δ dagegen negativ.

Im Laufe des Lebens kann der biologische Spielraum sich ändern, sowohl dem Betrag, als auch dem Vorzeichen nach. (Abb. 4 und Abb. 5)



z.B. früh geborener Spätentwickler

Abb. 4 Graph. Darstellung des biol. Spielraums



z.B. normal geborener Frühentwickler

Abb. 5 Graph. Darstellung des biol. Spielraums

c) Festlegung eines zeitlichen Fixpunktes

Unter Berücksichtigung des "biologischen Spielraums" waren bei meinen Untersuchungen zur Herstellung einer Beziehung Zahnalter-Skelettalter sichere Aussagen nur zu erwarten, wenn die zeitliche Veränderlichkeit ausgeschaltet, das Lebensalter als Konstante festgehalten wurde.

Mathematisch bedeutete dies folgendes:
Von den drei Veränderlichen: Zahnalter, Skelettalter, Lebensalter fiel eine als Veränderliche weg, was eine Untersuchung der Beziehung Zahnalter - Skelettalter erst möglich machte.

Die Kinder wurden somit an einem zeitlichen Fixpunkt geröntgt, die Mädchen an ihrem 12. Geburtstag, die Jungen am 14. Geburtstag (± 8 Tage)

Dieser Fixpunkt hätte prinzipiell in jedem Lebensalter eines Kindes gewählt werden können, in dem bei ihm ein Zahn- bzw. Skelettalter feststellbar war.

d) Die Wahl des Fixpunktes "maximaler puberaler Wachstumsschub"

Die Festlegung des Fixpunktes auf den Zeitpunkt des "maximalen puberalen Wachstumsschubs" (Abb. 6) geschah aus folgenden Gründen:

Einmal sollte eine möglichst breite Streuung und damit Aussagekraft gewonnen werden, da zum Zeitpunkt des Spitzenwachstums die Abstände der Entwicklungsphasen bei Früh- bzw. Spätentwicklern deutlicher sind als bei langsamen Wachstumszeiten.

Zum anderen spielt gerade die Einschätzung des maximalen puberalen Wachstums des Patienten eine große Rolle bei einem Großteil kieferorthopädischer Behandlungsfälle. (5, 7, 21)

Da es sinnvoll ist, große Zahnbewegungen in den Zeitraum der individuellen größten Körperwachstumsgeschwindigkeit hineinzuverlegen, die ja auch das Gesichtsfeld erfaßt, ist es bei der Planung kieferorthopädischer Maßnahmen wichtig zu wissen, ob das maximale puberale Wachstum des Patienten

gerade bevorsteht,
gerade erreicht ist,
oder schon vorüber ist.

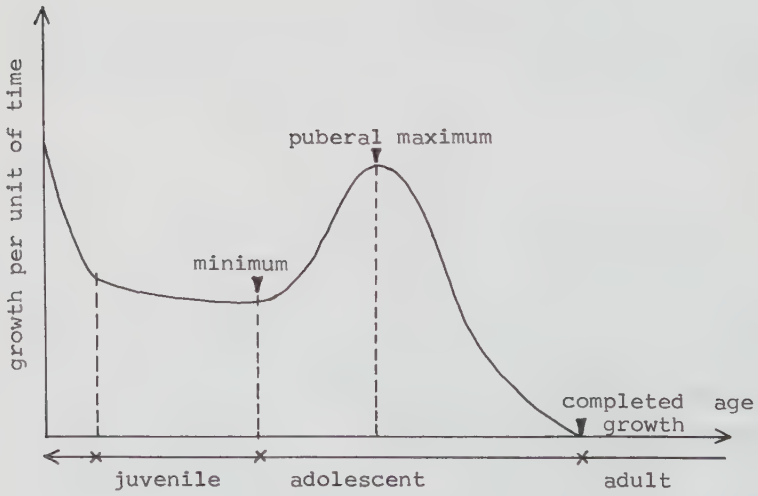


Abb. 6 Graphische Darstellung des Wachstums über Gesamtlebensalter

Schwierigkeiten ergaben sich bei der vorliegenden Arbeit aus zwei Gegebenheiten:

Es war nur über eine sehr lange Zeitspanne möglich, Kinder - gerade zum Zeitpunkt ihres Geburtstages - zur Röntgenuntersuchung zur Verfügung zu haben.

Des weiteren lag in der Literatur - für diese Art der Betrachtung der Abhängigkeit zwischen Skelettalter und Zahnalter - bei konstantem Alter der zu untersuchenden Kinder - kein vergleichbares Material vor.

II. Literaturübersicht

a) Theoretische Grundlagen zur Einschätzung der skelettalen Reife:

1. W.W. GREULICH / S. PYLE - Röntgenstandards

W.W. GREULICH / S. PYLE (23) haben in ihrem Atlas (1959), der weltweit benutzt wird, eine große Anzahl von Handröntgenaufnahmen von der Geburt bis zum Abschluß des Wachstums angefertigt und getrennt für Jungen und Mädchen "Standards" festgelegt, die für ein bestimmtes Alter repräsentativ sind.
Mit Hilfe dieser Standards ist es möglich, durch visuellen Vergleich der verschiedenen Handskelettknochen des zu beurteilenden Kindes, das jeweilig zutreffende skelettale Alter zu ermitteln.

2. A. BJÖRK - Reifestadien der Hand - Wachstumskurve

A. BJÖRK und Mitarbeiter (5) studierten die Beziehung zwischen "7 ausgewählten skelettalen Reifestadien" der Hand im Verhältnis zum maximalen puberalen Wachstum.

Dabei wählten sie zur Bestimmung der skelettalen Reife 4 lange Knochen der Hand und das Sesamoid des Daumens aus. An diesen Knochen stellten sie dann das Auftreten, die Größe und den Verschmelzungszeitpunkt der betreffenden Epiphysen fest. (Abb. 7)

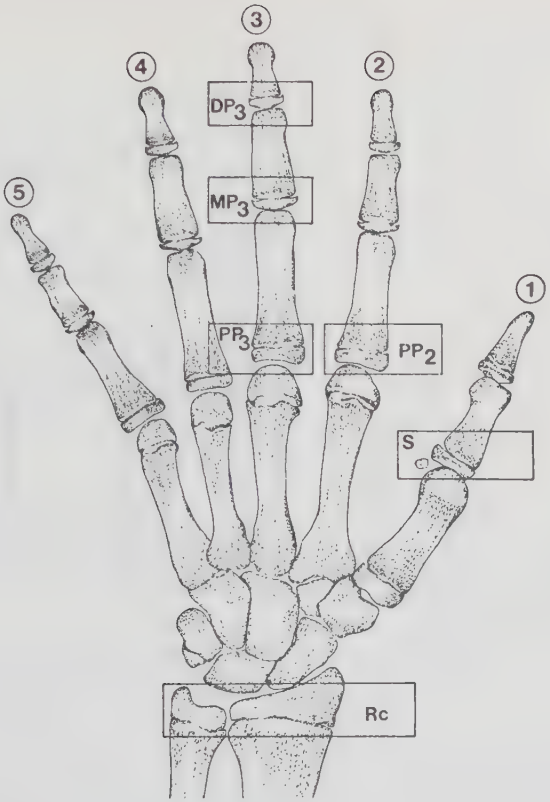


Abb. 7 Zeichnung des Handskeletts mit Reifestadien

Durch Abkürzungen mit den entsprechenden Definitionen wurde ein System geschaffen, das die einfache Einschätzung der skelettalen Reife erlaubt:

das PP_2 = Stadium

das MP_3 = Stadium

das Stadium S

das MP_{3cap} Stadium

das MP_{3u} Stadium

das DP_{3u} Stadium

das PP_{3u} Stadium

das R_u Stadium

Die Definition der Stadien:

PP_2	Stadium	ist erreicht, wenn die Epiphyse genau so breit ist, wie die Diaphyse der proximalen Phalanx
MP_3	Stadium	Die Epiphyse ist genau so breit, wie die Diaphyse der mittleren Phalanx
Stadium S		Auftreten des Sesamoids und Änderung der Epiphysenform des Daumens.
MP_3 cap	Stadium	Die Epiphysenscheibe umfaßt "kappenartig" den Schaft der mittleren Phalanx
DP_3 unit	Stadium	Die Epiphyse ist mit dem Schaft der mittleren Phalanx des dritten Fingers vereint.
PP_3 unit	Stadium	Die Epiphyse ist mit dem Schaft der proximalen Phalanx des dritten Fingers vereint.
MP_3 unit	Stadium	Die Epiphyse ist mit dem Schaft der mittleren Phalanx des dritten Fingers vereint.
R unit	Stadium	Die Epiphyse des Radius ist mit seinem Schaft vereinigt.
		Damit hat sich die letzte Epiphysenfuge im Bereich der Hand und der Handwurzel geschlossen.

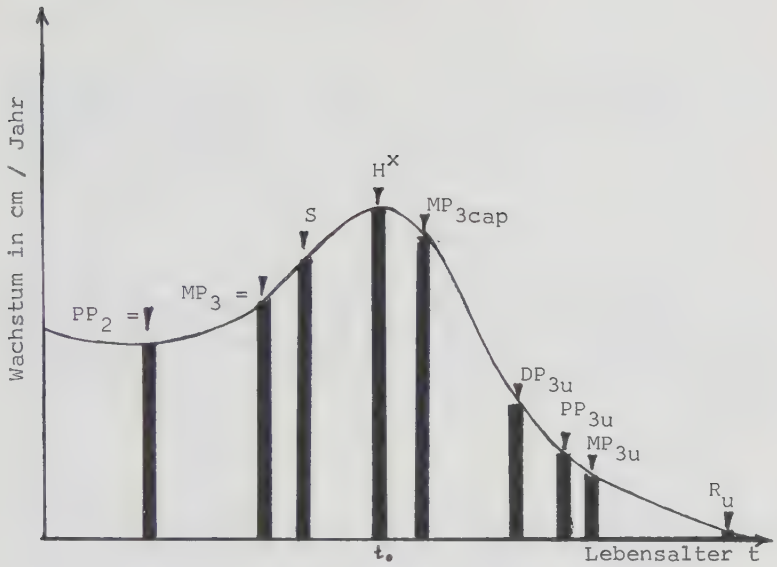


Abb. 8 Graphische Darstellung
des Wachstums nach A. BJÖRK (5)

Die Zeitpunkte des Auftretens der "7 Reifestadien der Hand" sind an bestimmten Stellen der Wachstumskurve lokalisiert. (Abb. 8)

Der Extremwert H^x repräsentiert die Spitzenwachstumsgeschwindigkeit des puberalen Wachstums;
t_o den Zeitpunkt des größten Wachstums.

3. K.C. GRAVE / T. BROWN - puberale Wachstumsgeschwindigkeit im "craniofacialen" Bereich

K.C. GRAVE und BROWN (4, 19) Australien ergänzten die Untersuchungen von A. BJÖRK (5) an einer Jungen- und Mädchengruppe und bestätigten im wesentlichen seine Untersuchungen.
Sie wiesen auf weitere, leicht zu erkennende Stadien der Entwicklung des Handskeletts hin. K.C. GRAVE (19) stellte im besonderen fest, daß sich auch im "craniofacialen Bereich" die puberale Wachstumsgeschwindigkeit in gleichem Maße auswirkt wie beim Längenwachstum und im Ausmaß des Wachstums, die Mädchen ebenfalls hinter den Jungen zurückbleiben.

4. J.M. TANNER /R.H. WHITEHOUSE - biologische Gewichtung der "einzelnen Knochen"

J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE / M.J.R. HEALY (39) schufen im Jahre 1962 eine neue Methode zur Skelettreifebestimmung; TW 1 genannt.
Sie wurde im Jahre 1975 überarbeitet und unter dem Titel "Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height" (TW 2 Method) veröffentlicht.
Mit dieser Methode ist es möglich, das Skelettalter differenzierter und auf einer fundierteren mathematischen Grundlage als bei den bisherigen Methoden zu bestimmen.

In Langzeituntersuchungen wurden Serien von Röntgenaufnahmen im Harpenden Growth Study gemacht (TANNER 1972), in Abständen von 6 Monaten und über Zeiträume bis zu 12 Jahren.
Dabei wurden die aufeinanderfolgenden Veränderungen beobachtet, die in der Form und in den Schattenbildungen jedes Knochens stattfanden, von seinem ersten Erscheinen bis in sein Erwachsenenstadium.

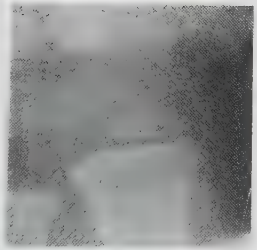
Obwohl so betrachtet, die Weiterentwicklung eines Knochens ein kontinuierlicher Vorgang ist, wurde dieser kontinuierliche Prozeß in eine Anzahl von einzelnen Stadien (A, B, C ...) eingeteilt, von denen jedes unzweideutig sowohl durch verbale Kriterien, als auch illustriert durch Zeichnungen und Röntgenaufnahmen für jeden einzelnen Knochen beschrieben werden konnte. (Abb. 9)

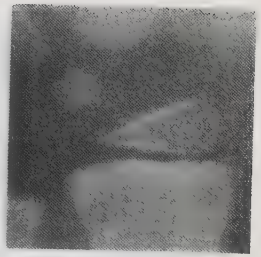
Das Stadium A repräsentiert immer das Fehlen eines sichtbaren Knochens.
Radius, metacarpals, phalanges, hamate und trapezium wurden in 9 Stadien eingeteilt;
ulna und der Rest der carpal-Knochen in 8 Stadien.

Der Gewinnung einer mathematischen Vorschrift (Table 1) zur Bestimmung des Skelettalters liegen folgende Überlegungen zugrunde:

Im allgemeinen ist es klar, daß viele der Knochen der Hand und des Handgelenks nahezu dieselbe Information über die Reife geben. Im besonderen sind die Fingerknochen fast ähnlich.
Es erscheint deshalb nicht wünschenswert, einen einfachen Durchschnitt aller verfügbaren Knochen zu nehmen, da es den 19 Fingerknochen eine größere Wichtigkeit geben würde, als den 7 carpals oder radius und ulna.
Des weiteren ist oft behauptet worden, daß die carpal-Knochen abweichendere und wahrscheinlich für die meisten Zwecke undeutlichere Informationen über dén Reifeprozeß geben als die Fingerknochen.

Radius



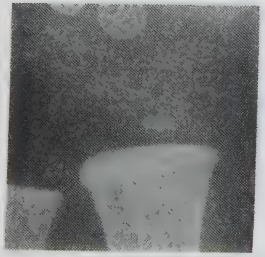


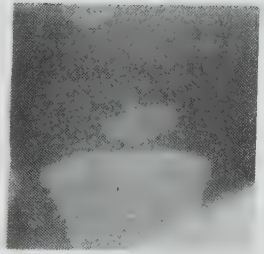
B

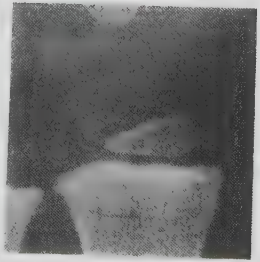
C

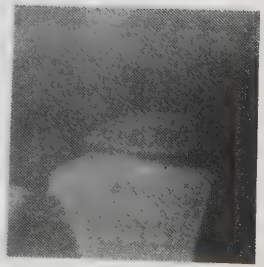
D

E









Boys' Scores			Girls' Scores	
TW2	RUS		*TW2*	*RUS*
15	16	**Stage B** (i) The centre is just visible as a single deposit of calcium, or more rarely as multiple deposits. The border is frequently ill-defined.	*17*	*23*
		Stage C		
TW2	RUS	(i) The centre is distinct in appearance and oval in shape with a smooth continuous border.	*TW2*	*RUS*
17	21	(The maximum diameter is less than half the width of the metaphysis.)	*19*	*30*
		Stage D		
		(i) The maximum diameter is half or more the width of the metaphysis.		
		(ii) The epiphysis has broadened chiefly at its lateral side, so that this portion is		
TW2	RUS	thicker and more rounded, the medial portion more tapering.	*TW2*	*RUS*
21	30	(iii) The centre third of the proximal surface is flat and slightly thickened and the gap between it and the radial metaphysis has narrowed to about a millimeter.	*25*	*44*
		Stage E		
TW2	RUS	(i) A thickened white line has appeared just inside the distal border of the		
27	39	epiphysis; this represents the edge of the palmar surface and the newly appeared bone distal to it is the edge of the dorsal surface.	*TW2*	*RUS*
			33	*56*

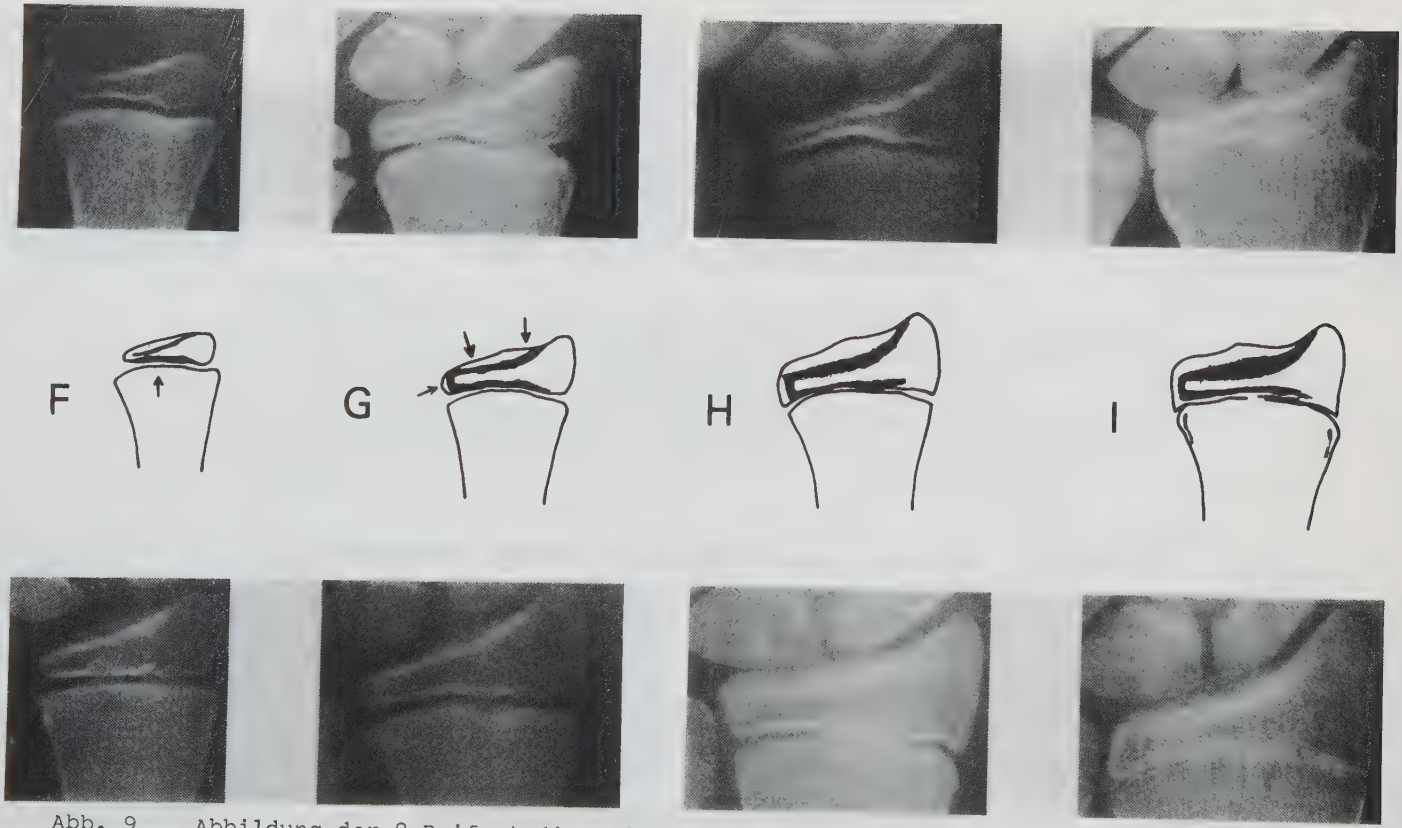


Abb. 9 Abbildung der 8 Reifestadien (radius)

Boys' Scores			Girls' Scores	
		Stage F		
TW2	RUS	(i) The proximal border of the epiphysis is now differentiated into palmar and dorsal surfaces; the palmar surface is visible as a broad irregularly thickened white line at the proximal edge of the epiphysis.	*TW2*	*RUS*
48	59	(ii) Both ends of the epiphysis, but particularly the medial one, have grown outward and proximally since the last stage so that the proximal border now conforms to the shape of the metaphysis along most of its extent.	*54*	*78*
		Stage G		
TW2	RUS	(i) The dorsal surface now has distinct lunate and scaphoid articular edges joined at a small hump. Lateral to the scaphoid surface the styloid process carries the border distally in a distinct convexity.		
77	87	(ii) The medial border of the epiphysis has developed palmar and dorsal surfaces for articulation with the ulnar epiphysis; either palmar or dorsal surface may be the one which projects medially, depending on the position of the wrist.	*TW2* *85*	*RUS* *114*
		(iii) The proximal border of the epiphysis is now slightly concave.		
		Stage H		
TW2	RUS	(i) The epiphysis now caps the metaphysis on one (usually the medial) or both sides.	*TW2*	*RUS*
		Stage I		
TW2	RUS	(i) Fusion of epiphysis and metaphysis has begun. A line may still be visible composed partly of black areas where the epiphyseal cartilage remains and partly of dense white areas where fusion is proceeding; or the line may have disappeared.	*TW2*	*RUS*
106	213		*106*	*218*

zu Abb. 9 Beschreibung der 8 Reifestadien (radius)

Aus diesen theoretischen Erwägungen ergaben sich zwei Folgerungen:

a) Es wurden drei "separate" Reifesysteme aufgestellt:

eines	-	für die Handwurzelknochen, (Abb. 10 a)
ein zweites	-	das radius, ulna und short bones (metacarpals und phalanges) einschließt, in Zusammenziehung der Anfangsbuchstaben "RUS" genannt. (Abb. 10 b)
ein drittes	-	als Kombination von carpals und RUS für 20 Knochen - auch TW 2 - bone System genannt

b) Für jedes System wurde eine Sammlung von "biologischen Gewichten" (39, 40) ausgedacht, um den Fehler bei der Reifebestimmung möglichst klein zu halten. (Table 1)

TW 2 20- bone score:

Es wird die eine Hälfte der RUS Gewichtung, plus der anderen Hälfte der carpal Gewichtung gebraucht.

RUS score:

Die Knochen der Finger 2 und 4 erhalten kein Gewicht, mit anderen Worten - diese Knochen werden nicht untersucht. Gleiche Gewichte erhalten radius, ulna und die Fingerreihen 1, 3, 5, wobei die drei oder vier Knochen von jeder Fingerreihe untereinander gleich gewichtet werden.

Carpal score:

Für alle sieben Knochen werden gleiche Gewichte gebraucht.

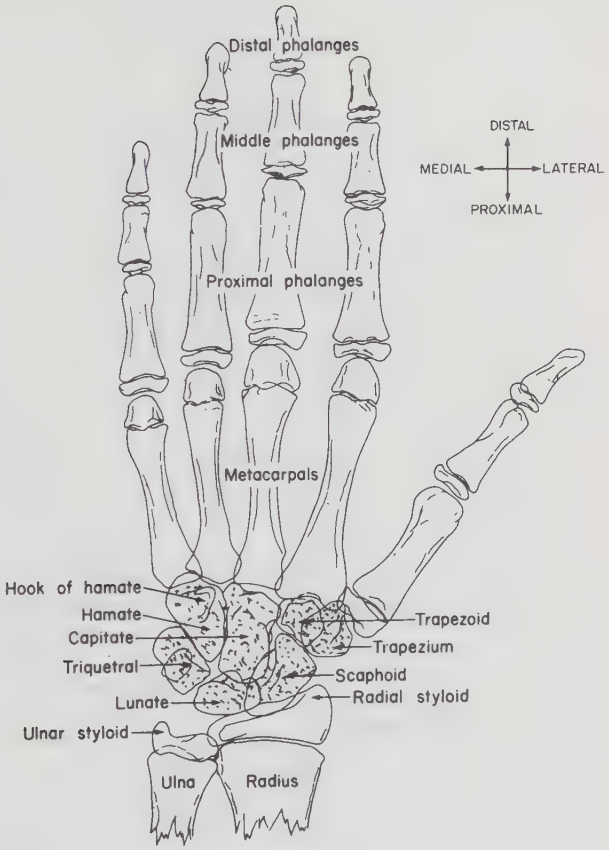


Abb. 10 a Bones of the hand and wrist.

"carpals" = [illegible]

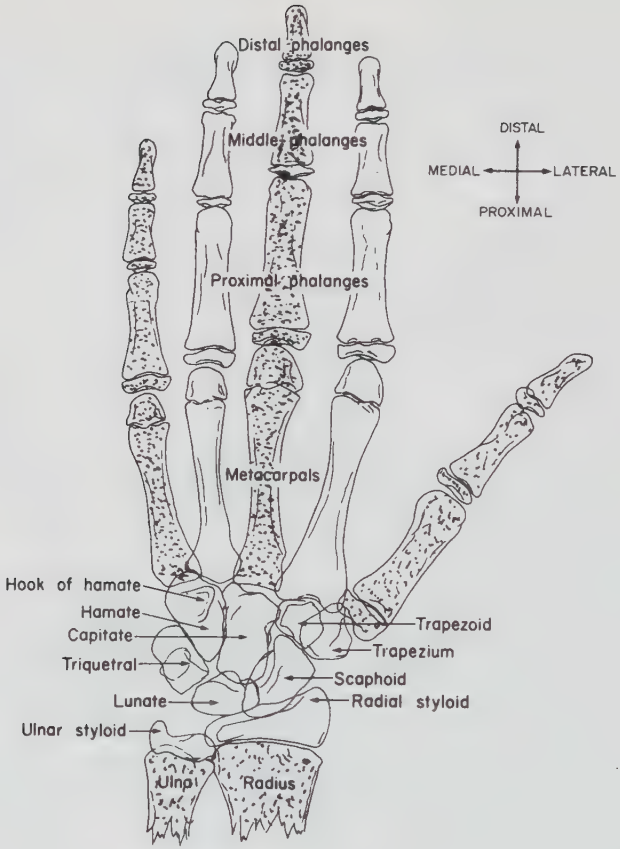


Abb. 10 b **Bones of the hand and wrist.**

"RUS" = [illegible]

Values of Biological Weights assigned to Each Bone

	TW2 20-bone	RUS	Carpal
Radius	10·0	20·0	
Ulna	10·0	20·0	
Metacarpal I	3·4	6·7	
III	2·5	5·0	
V	2·5	5·0	
Proximal phalanges I	3·3	6·7	
III	2·5	5·0	
V	2·5	5·0	
Middle phalanges III	2·5	5·0	
V	2·5	5·0	
Distal phalanges I	3·3	6·7	
III	2·5	5·0	
V	2·5	5·0	
Capitate	7·1		14·3
Hamate	7·1		14·3
Triquetral	7·1		14·3
Lunate	7·1		14·3
Scaphoid	7·1		14·3
Trapezium	7·1		14·3
Trapezoid	7·1		14·3

Table 1 Sammlung "biologischer Gewichte" für jedes Reifesystem

Atlas TANNER / WHITEHOUSE / HEALY (5)

RUS (TW2) Bone Age for Given Maturity Score

BOYS

Maturity score	Bone "age"	Maturity score	Bone "age"	Maturity score	Bone "age"	Maturity score	Bone "age"
	1·0	189	6·0	330	11·0	744	16·0
–	·1	192	·1	334	·1	762	·1
–	·2	194	·2	337	·2	780	·2
–	·3	197	·3	340	·3	798	·3
–	·4	199	·4	342	·4	816	·4
–	·5	202	·5	346	·5	833	·5
26	·6	204	·6	349	·6	850	·6
32	·7	207	·7	352	·7	867	·7
38	·8	209	·8	354	·8	883	·8
43	·9	212	·9	358	·9	899	·9
49	2·0	215	7·0	361	12·0	915	17·0
55	·1	218	·1	365	·1	928	·1
61	·2	222	·2	369	·2	940	·2
65	·3	224	·3	373	·3	951	·3
70	·4	227	·4	378	·4	962	·4
75	·5	230	·5	382	·5	971	·5
80	·6	233	·6	386	·6	980	·6
84	·7	235	·7	391	·7	986	·7
89	·8	238	·8	395	·8	992	·8
93	·9	240	·9	400	·9	995	·9
98	3·0	243	8·0	405	13·0	997	18·0
101	·1	245	·1	410	·1	999	·1
105	·2	248	·2	416	·2	1000	ADULT
108	·3	251	·3	422	·3		
112	·4	253	·4	427	·4		
115	·5	257	·5	434	·5		
118	·6	260	·6	440	·6		
122	·7	263	·7	447	·7		
125	·8	266	·8	454	·8		
128	·9	269	·9	463	·9		
132	4·0	272	9·0	472	14·0		
135	·1	275	·1	481	·1		
138	·2	278	·2	490	·2		
141	·3	281	·3	501	·3		
144	·4	283	·4	512	·4		
147	·5	286	·5	524	·5		
150	·6	289	·6	536	·6		
153	·7	292	·7	548	·7		
156	·8	295	·8	560	·8		
159	·9	297	·9	574	·9		
162	5·0	300	10·0	588	15·0		
165	·1	303	·1	602	·1		
168	·2	306	·2	616	·2		
171	·3	309	·3	630	·3		
173	·4	312	·4	645	·4		
177	·5	316	·5	660	·5		
180	·6	319	·6	675	·6		
182	·7	321	·7	692	·7		
185	·8	325	·8	708	·8		
187	·9	328	·9	726	·9		

Table A 1 Umrechnung der Punktwerte im "RUS - System in das Skelettalter (Knaben)
Atlas TANNER / WHITEHOUSE / HEALY (5)

RUS (TW2) Bone Age for Given Maturity Score

GIRLS

Maturity score	*Bone "age"*	*Maturity score*	*Bone "age"*	*Maturity score*	*Bone "age"*	*Maturity score*	*Bone "age"*
.32	*1·0*	*248*	*5·0*	*375*	*9·0*	*674*	*13·0*
42	*·1*	*251*	*·1*	*380*	*·1*	*684*	*·1*
53	*·2*	*253*	*·2*	*386*	*·2*	*695*	*·2*
63	*·3*	*256*	*·3*	*392*	*·3*	*705*	*·3*
74	*·4*	*259*	*·4*	*397*	*·4*	*715*	*·4*
83	*·5*	*261*	*·5*	*402*	*·5*	*726*	*·5*
92	*·6*	*264*	*·6*	*407*	*·6*	*737*	*·6*
101	*·7*	*267*	*·7*	*413*	*·7*	*747*	*·7*
110	*·8*	*270*	*·8*	*419*	*·8*	*758*	*·8*
117	*·9*	*272*	*·9*	*425*	*·9*	*769*	*·9*
125	*2·0*	*275*	*6·0*	*431*	*10·0*	*779*	*14·0*
133	*·1*	*277*	*·1*	*437*	*·1*	*790*	*·1*
140	*·2*	*280*	*·2*	*444*	*·2*	*801*	*·2*
147	*·3*	*283*	*·3*	*450*	*·3*	*812*	*·3*
153	*·4*	*286*	*·4*	*457*	*·4*	*822*	*·4*
159	*·5*	*289*	*·5*	*464*	*·5*	*834*	*·5*
164	*·6*	*292*	*·6*	*471*	*·6*	*847*	*·6*
169	*·7*	*295*	*·7*	*478*	*·7*	*859*	*·7*
175	*·8*	*298*	*·8*	*485*	*·8*	*873*	*·8*
180	*·9*	*301*	*·9*	*493*	*·9*	*886*	*·9*
185	*3·0*	*303*	*7·0*	*500*	*11·0*	*900*	*15·0*
189	*·1*	*307*	*·1*	*507*	*·1*	*915*	*·1*
192	*·2*	*310*	*·2*	*515*	*·2*	*929*	*·2*
196	*·3*	*314*	*·3*	*523*	*·3*	*942*	*·3*
200	*·4*	*318*	*·4*	*530*	*·4*	*954*	*·4*
203	*·5*	*321*	*·5*	*538*	*·5*	*966*	*·5*
207	*·6*	*324*	*·6*	*545*	*·6*	*977*	*·6*
210	*·7*	*327*	*·7*	*553*	*·7*	*986*	*·7*
214	*·8*	*330*	*·8*	*560*	*·8*	*993*	*·8*
217	*·9*	*334*	*·9*	*569*	*·9*	*997*	*·9*
221	*4·0*	*337*	*8·0*	*578*	*12·0*	*1000*	ADULT
224	*·1*	*341*	*·1*	*587*	*·1*		
227	*·2*	*344*	*·2*	*596*	*·2*		
230	*·3*	*348*	*·3*	*605*	*·3*		
232	*·4*	*351*	*·4*	*614*	*·4*		
235	*·5*	*355*	*·5*	*624*	*·5*		
238	*·6*	*358*	*·6*	*633*	*·6*		
240	*·7*	*362*	*·7*	*643*	*·7*		
243	*·8*	*366*	*·8*	*653*	*·8*		
246	*·9*	*371*	*·9*	*664*	*·9*		

Table A 4 Umrechnung der Punktwerte im "RUS"-System in das Skelettalter (Mädchen)

Atlas TANNER /WHITEHOUSE / HEALY (5)

b) Theoretische Grundlagen zur Beurteilung des Zahnalters:

Den Forschungen von C.F.A. MOOREES (28, 29), P.M. SCHOPF (36), A. DEMIRJIAN / H. GOLDSTEIN / J.M. TANNER (13) etc. zur Bestimmung des Zahnalters liegen folgende Überlegungen zugrunde:

Der "einzelne Zahn" macht sowohl eine Wachstums- als auch eine Verkalkungsentwicklung durch.

Er entwickelt sich von einer -
wegen fehlender Kalkablagerungen -
kaum sichtbaren Zahnanlage -
über verschiedene Mineralisationsstadien -
bis zum völlig verkalkten Zahn.

So wurden zunächst Untersuchungen durchgeführt zur Erforschung der Abhängigkeit der Zahnlänge vom Lebensalter.
Dabei stellte es sich heraus, daß die Beobachtung dieser Entwicklung -
zum einen wegen des geringen Längenwachstums der Zähne -
C.F.A. MOOREES (28) gibt eine Wachstumsrate von
$4 \cdot 10^{-6}$ md^{-1} an -
zum anderen aber auch wegen der Längenungenauigkeit des Röntgenbildes nur mit unverhältnismäßigem Aufwand möglich war.

Auf Grund dieser Sachlage rückten dann die Untersuchungen zur Bestimmung des Zahnalters mit Hilfe des Mineralisationsgrades der einzelnen Zähne immer mehr in den Vordergrund.

1. C.F.A. MOOREES / Boston

Funktion: Punktwert - Lebensalter
(für den einzelnen Zahn)

Die im Jahr 1963 erschienene Publikation von C.F.A. MOOREES (28) basiert auf dem Röntgenmaterial der "Longitudinal Studies", welche am Fels Research Institute in Ohio erstellt wurden. Zur Verfügung standen Röntgenaufnahmen von 250 Kindern.

Die Reihenuntersuchungen wurden durchgeführt an den 10 bleibenden Zähnen und zwar den bleibenden hinteren Unterkieferzähnen (C - M_3) und den bleibenden Ober- und Unterkieferschneidezähnen (I_1 und I_2).

Dabei wurde für jeden "einzelnen" Zahn zu den Zeitpunkten t_o, t_1.... t_n die Entwicklung der Verkalkung mit Hilfe von Röntgenbildern beobachtet und jedem Verkalkungsgrad ein Punktwert zugeordnet.
(Abb. 11)

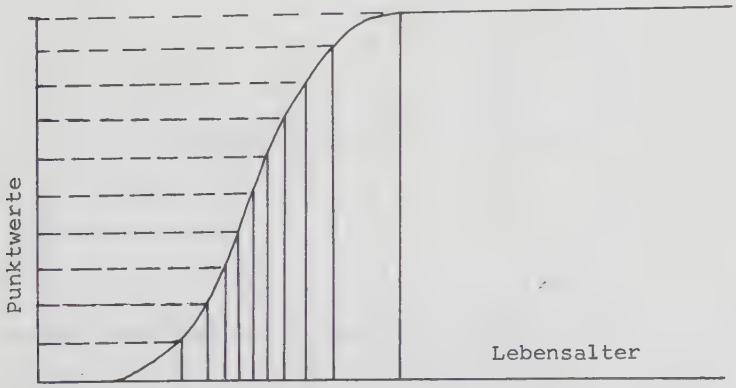


Abb. 11 Graphische Darstellung
der "Verkalkung" eines "einzelnen" Zahnes

Da jeder Zahn - nur zeitlich verschoben - eine eigene Entwicklung durchmacht, z.B. nicht nur ein Unterschied besteht zwischen erstem und zweitem Molar, sondern auch zwischen einem gleichrangigen Zahn im Oberkiefer, bzw.im Unterkiefer oder einem gleichrangigen Zahn auf der rechten, bzw. linken Seite des Gebisses,
kann für mehrere Zähne folgender Verlauf angesetzt werden: (Abb. 12)

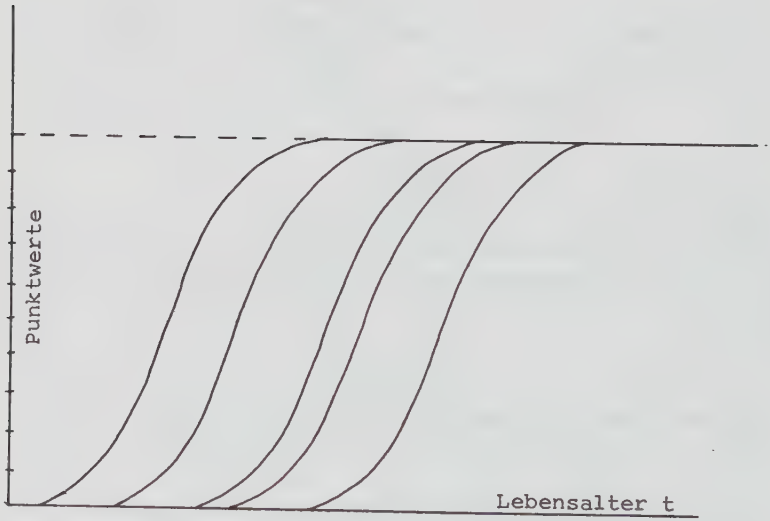


Abb. 12 Kurvenschar: Jedem Zahn entspricht eine Kurve

Da die Zahnentwicklung aller Zähne in ihrer Reihenfolge festliegt, (M_1, L_1 I_2 .... M_2, M_3) ist zu einem bestimmten Zeitpunkt t:

Zahn	I	voll	entwickelt:	Punktwert	1 n
Zahn	II	fast	entwickelt:	Punktwert	$\frac{2}{3}$ n
Zahn	III	kaum	entwickelt:	Punktwert	$\frac{1}{3}$ n
Zahn	IV	nicht	entwickelt	Punktwert	o

Da C.F.A. MOOREES (28) 14 Verkalkungsstufen unterscheiden konnte, wählte er für $n = 14$.

2. P.M. SCHOPF / Frankfurt

Mineralisationsstadien (n = 10)

Die Arbeit von P.M. SCHOPF (36) Frankfurt 1970 über "Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiß" greift zur Beurteilung des Mineralisationsgrades der einzelnen Zähne das Schema von C.F.A. MOORES (28) auf und modifiziert es zur besseren statistischen Bearbeitung geringfügig.

P.M. SCHOPF (36)reduziert dabei die 14 Mineralisationsstadien von C.F.A. MOOREES (28) auf 10. (n = 10)

Mineralisationsstadien nach P.M. SCHOPF: (Abb. 13)

1	Cr 1/2	Krone zur Hälfte mineralisiert
2	Cr 3/4	Dreiviertel der Krone mineralisiert
3	Cr c	Krone voll mineralisiert
4	R i	Beginn der Wurzelbildung
5	R 1/4	Ein Viertel der Wurzel gebildet
6	R 1/2	Wurzel zur Hälfte ausgebildet
7	R 3/4	Dreiviertel der Wurzellänge
8	R c	Volle Wurzellänge
9	A 1/2	Apex zur Hälfte geschlossen
10	A c	Zahn voll ausgebildet

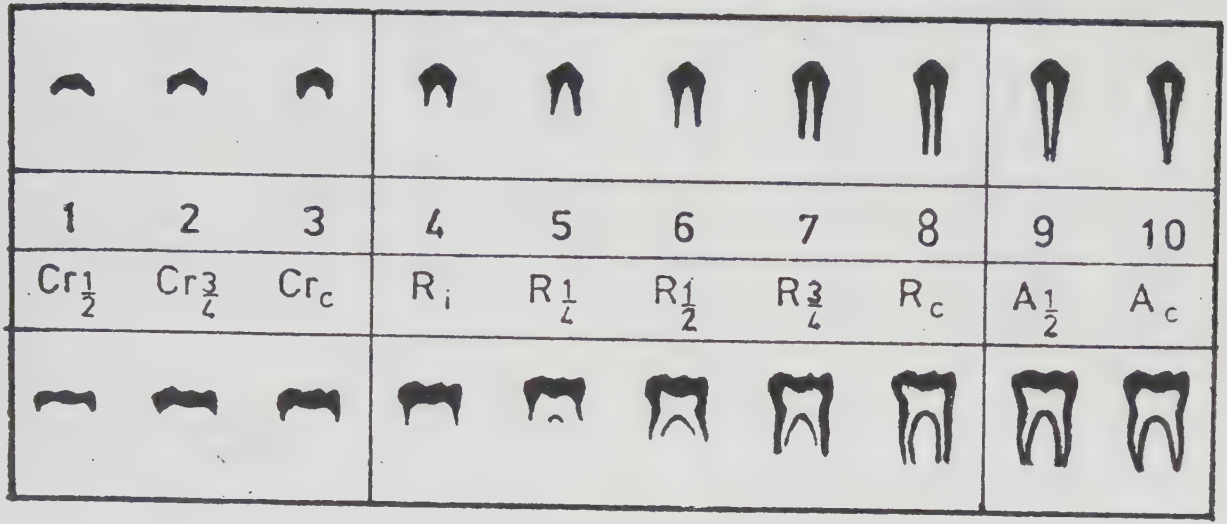


Abb. 13 Mineralisationsstadien ein- und mehrwurzeliger Zähne nach P.M. SCHOPF (36)

3. GAT / A. HASUND

Funktion: Punktesumme - Lebensalter
(für alle Zähne)

Die GAT-Tabelle (24) 1972 beruht auf 5 Stufen der Zahnbildung (n = 5) zur Abschätzung des Entwicklungsstandes von ein- und mehrwurzeligen Zähnen.

Jede Figur kennzeichnet das Ende des jeweiligen Stadiums. (Abb. 14)

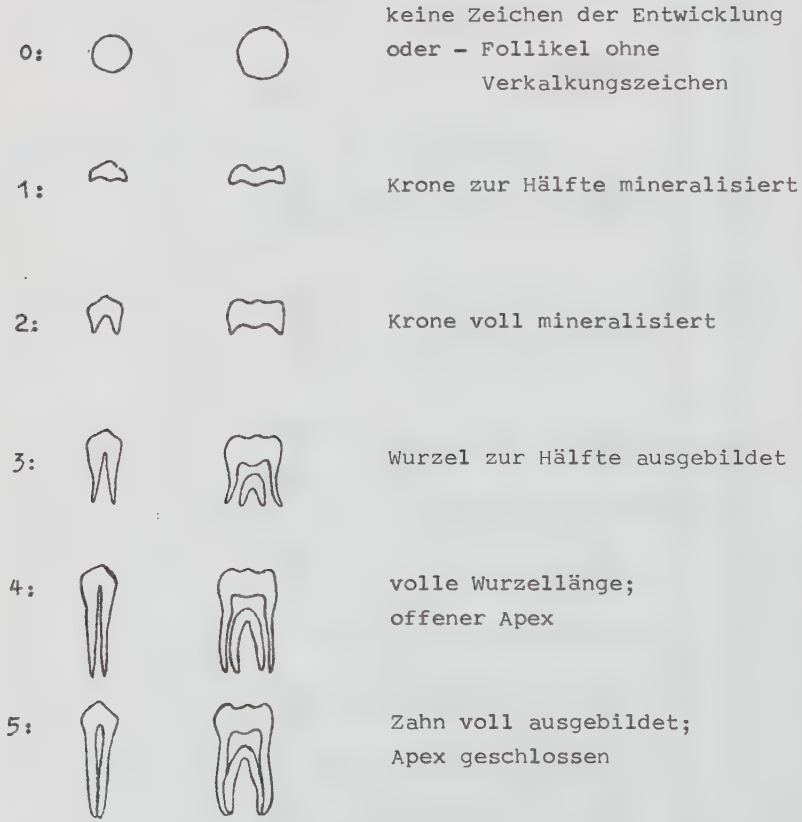


Abb. 14 Mineralisationsstadien
ein- und mehrwurzeliger Zähne nach GAT (24)

A. HASUND (24) summierte die "Punktwerte" für die einzelnen Zähne des Oberkiefers, bzw. des Unterkiefers auf und bildete sogenannte "Punktesummen". Dabei verwendete er zur Punktwertbestimmung das Mineralisationsschema von GAT (24).
Dann stellte er über Mittelwerte (Hunderte von Punktesummen von Kindern) die Abhängigkeit der Punktesummen vom Lebensalter graphisch dar.
(Abb. 15 und 16)

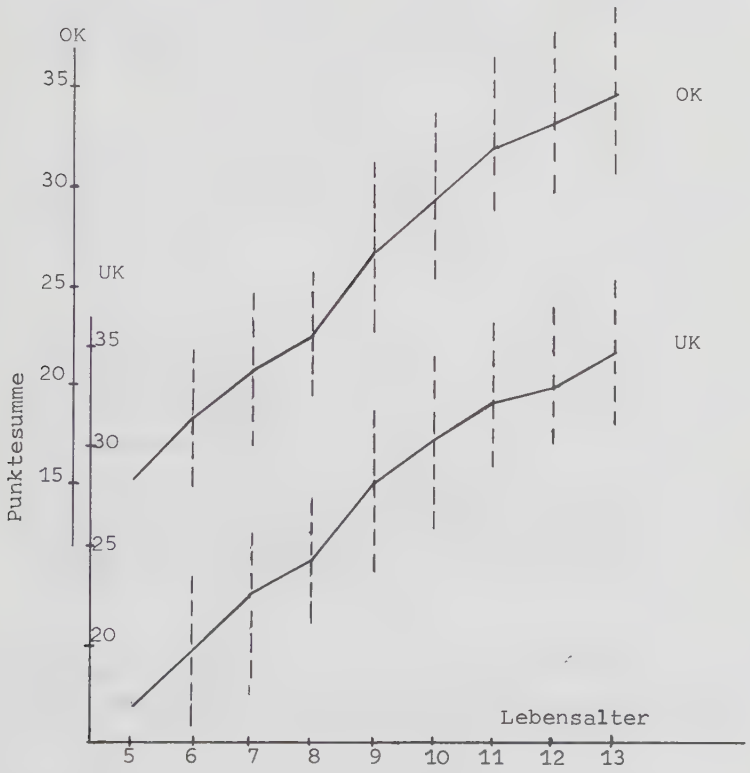


Abb. 15 Graphische Darstellung der Punktesummen aller Zähne im Oberkiefer, bzw. Unterkiefer in Abhängigkeit vom Lebensalter (Mädchen)

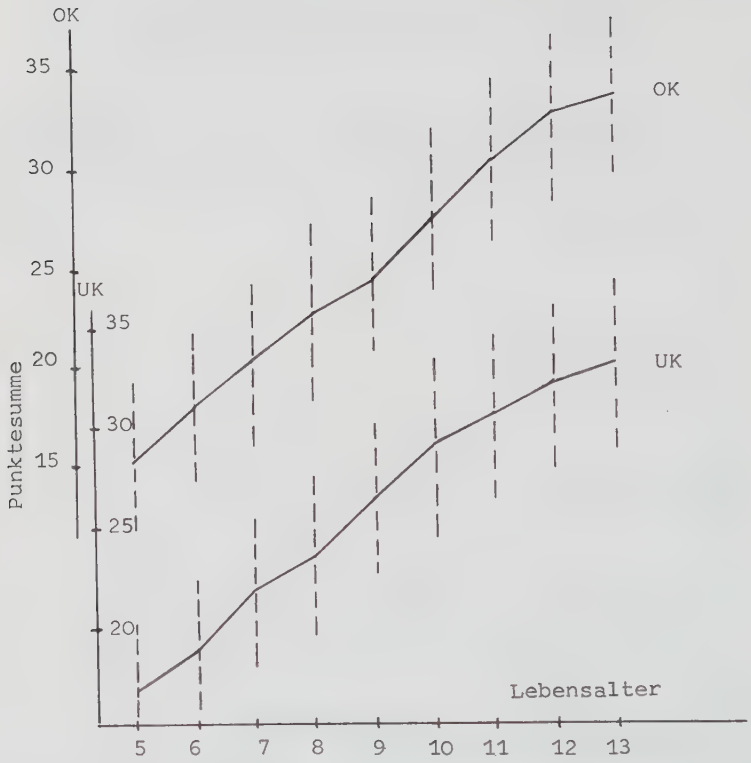


Abb. 16 Graphische Darstellung der Punktesummen aller Zähne im Oberkiefer, bzw. Unterkiefer in Abhängigkeit vom Lebensalter (Knaben)

Mit Hilfe dieser Kurven kann jedem Kind entsprechend seiner Punktesumme ein Zahnalter zugeordnet werden.

4. A. DEMIRJIAN / H. GOLDSTEIN / J.M. TANNER

Differenzierung durch Gewichtung der "einzelnen" Zähne

Mit der Arbeit von A. DEMIRJIAN / H. GOLDSTEIN / J.M. TANNER (13) 1973 über

"A new system of dental age assessment" wird ein neues System zur Zahnalterbestimmung vorgestellt.

Es steht in Zusammenhang mit dem radiologischen Erscheinen der 7 Zähne der linken Unterkieferhälfte.

Der 3. Molar bleibt unberücksichtigt.

Panoramaaufnahmen von 1446 Knaben und 1482 Mädchen von französisch-kanadischer Herkunft wurden herangezogen.

Jeder Zahn wurde eingeschätzt gemäß den Entwicklungskriterien:

Ausmaß der Dentinablagerung, Schattenveränderung der Pulpakammern etc.

Acht Stadien "A bis H" wurden definiert -
vom ersten Erscheinen der Verkalkungspunkte bis zum Schluß des Apex. (Abb. 17)

Developmental stages of the permanent dentition.

Abb. 17 "Entwicklungsstadien" der bleibenden Zähne

Beschreibung der 8 Reifestadien zur Beurteilung der Zahnreife nach A. DEMIRJIAN, H. GOLDSTEIN, J.M. TANNER (13)

A. Sowohl bei den einwurzeligen, als auch bei den mehrwurzeligen Zähnen zeigt sich ein Beginn der Verkalkung - am obersten Bereich der Vertiefung - in Form eines umgekehrten Kegels oder von Kegeln. Es gibt keine Verschmelzung dieser verkalkten Punkte.

B. Durch Verschmelzung der verkalkten Punkte bilden sich ein oder mehrere Höcker, die zusammen eine regelmäßig umrissene Okklusionsfläche bilden.

C. a) Die Bildung des Zahnschmelzes an der Okklusionsfläche ist abgeschlossen. Man sieht seine Ausdehnung und Konvergenz in Richtung des Zahnhalses.
   b) Der Beginn einer Dentineinlagerung ist zu sehen.
   c) Die Pulpahöhle hat einen gekrümmten Abschluß am okklusalen Rand.

D. a) Die Kronenbildung ist fortgeschritten bis hinunter zur Schmelz-Zementgrenze.
   b) Der obere Rand der Pulpahöhle hat beim einwurzeligen Zahn eine klar konturierte gekrümmte Form, die konkav in Richtung des Zahnhalses verläuft. Der Vorsprung der Pulpenhörner, falls vorhanden, bildet den Umriß einer Schirmspitze. Bei den Molaren hat die Pulpahöhle eine trapezähnliche Form.
   c) Der Beginn der Wurzelbildung zeigt sich in Form einer Nadel.

E. Einwurzelige Zähne:

a) Die Wände der Pulpahöhle nehmen nun einen geraden Verlauf, deren Kontinuität durch das Pulpahorn unterbrochen wird, das größer ist als im vorhergehenden Stadium.
b) Die Länge der Wurzel ist geringer als die Höhe der Krone.

Molaren:

a) Die ersten Zeichen der Bildung der Wurzelbifurkation zeigen sich entweder in Form eines verkalkten Punktes oder eines Halbmondschatten.
b) Die Länge der Wurzel ist noch geringer als die Länge der Krone.

F. Einwurzelige Zähne:

a) Die Wände der Pulpahöhle bilden nun ein mehr oder weniger gleichschenkliges Dreieck. Der Scheitelpunkt endet in Trichterform.
b) Die Länge der Wurzel ist gleich oder größer als die Höhe der Krone.

Molaren:

a) Der verkalkte Bereich der Bifurkation hat sich vom halbmondförmigen Stadium weiter nach unten entwickelt und gibt den Wurzeln klarere und abgegrenztere Umrisse mit trichterförmigen Enden.
b) Die Wurzellänge ist gleich oder größer als die Höhe der Krone.

G. a) Die Wände des Wurzelkanals verlaufen nun parallel und sein apikales Ende ist noch teilweise offen.

H. a) Das apikale Ende des Wurzelkanals ist vollständig geschlossen. (Distale Wurzel bei Molaren)
b) Die Wurzelhaut hat eine konstante Breite rund um die Wurzel und den Apex.

Table 2 (Appendix)

Self-Weighted Scores for Dental Stages
7 Teeth (Mandibular Left Side)

Boys

Tooth	Stage 0	A	B	C	D	E	F	G	H
M_2	0.0	2.1	3.5	5.9	10.1	12.5	13.2	13.6	15.4
M_1				0.0	8.0	9.6	12.3	17.0	19.3
PM_2	0.0	1.7	3.1	5.4	9.7	12.0	12.8	13.2	14.4
PM_1			0.0	3.4	7.0	11.0	12.3	12.7	13.5
C				0.0	3.5	7.9	10.0	11.0	11.9
I_2				0.0	3.2	5.2	7.8	11.7	13.7
I_1					0.0	1.9	4.1	8.2	11.8

Girls

Tooth	Stage 0	A	B	C	D	E	F	G	H
M_2	0.0	2.7	3.9	6.9	11.1	13.5	14.2	14.5	15.6
M_1				0.0	4.5	6.2	9.0	14.0	16.2
PM_2	0.0	1.8	3.4	3.5	10.6	12.7	13.5	13.8	14.6
PM_1			0.0	3.7	7.5	11.8	13.1	13.4	14.1
C				0.0	3.8	7.3	10.3	11.6	12.4
I_2				0.0	3.2	5.6	8.0	12.2	14.2
I_1					0.0	2.4	5.1	9.3	12.9

NB: Stage A is no calcification

Table 2 Biologische Gewichtung der "einzelnen" Zähne für die 8 Verkalkungsstadien

Die Methode von J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE / M. HEALY (39) für die skelettale Reife wurde benutzt, um einen Punktwert für jedes Stadium eines jeden Zahnes abzuleiten. (Table 2)

Table 3

Conversion of Maturity Score to Dental Age (7 Teeth)

Age	Score	Age	Score	Age	Score	Age	Score
			Boys				
3.0	12.4	7.0	46.7	11.0	92.0	15.0	97.6
.1	12.9	.1	48.3	.1	92.2	.1	97.7
.2	13.5	.2	50.0	.2	92.5	.2	97.8
.3	14.0	.3	52.0	.3	92.7	.3	97.8
.4	14.5	.4	54.3	.4	92.9	.4	97.9
.5	15.0	.5	56.8	.5	93.1	.5	98.0
.6	15.6	.6	59.6	.6	93.3	.6	98.1
.7	16.2	.7	62.5	.7	93.5	.7	98.2
.8	17.0	.8	66.0	.8	93.7	.8	98.2
.9	17.6	.9	69.0	.9	93.9	.9	98.3
4.0	18.2	8.0	71.6	12.0	94.0	16.0	98.4
.1	18.9	.1	73.5	.1	94.2		
.2	19.7	.2	75.1	.2	94.4		
.3	20.4	.3	76.4	.3	94.5		
.4	21.0	.4	77.7	.4	94.6		
.5	21.7	.5	79.0	.5	94.8		
.6	22.4	.6	80.2	.6	95.0		
.7	23.1	.7	81.2	.7	95.1		
.8	23.8	.8	82.0	.8	95.2		
.9	24.6	.9	82.8	.9	95.4		
5.0	25.4	9.0	83.6	13.0	95.6		
.1	26.2	.1	84.3	.1	95.7		
.2	27.0	.2	85.0	.2	95.8		
.3	27.8	.3	85.6	.3	95.9		
.4	28.6	.4	86.2	.4	96.0		
.5	29.5	.5	86.7	.5	96.1		
.6	30.3	.6	87.2	.6	96.2		
.7	31.1	.7	87.7	.7	96.3		
.8	31.8	.8	88.2	.8	96.4		
.9	32.6	.9	88.6	.9	96.5		
6.0	33.6	10.0	89.0	14.0	96.6		
.1	34.7	.1	89.3	.1	96.7		
.2	35.8	.2	89.7	.2	96.8		
.3	36.9	.3	90.0	.3	96.9		
.4	38.0	.4	90.3	.4	97.0		
.5	39.2	.5	90.6	.5	97.1		
.6	40.6	.6	91.0	.6	97.2		
.7	42.0	.7	91.3	.7	97.3		
.8	43.6	.8	91.6	.8	97.4		
.9	45.1	.9	91.8	.9	97.5		

Table 3 Umrechnung der Punktwerte bei A. DEMIRJIAN (13) in das Zahnalter (Knaben)

Table 3 (continued)

Conversion of Maturity Score to Dental Age 7 Teeth (Mandibular Left Side)

Age	Score	Age	Score	Age	Score	Age	Score
			Girls				
3.0	13.7	7.0	51.0	11.0	94.5	15.0	99.2
.1	14.4	.1	52.9	.1	94.7	.1	99.3
.2	15.1	.2	55.5	.2	94.9	.2	99.4
.3	15.8	.3	57.8	.3	95.1	.3	99.4
.4	16.6	.4	61.0	.4	95.3	.4	99.5
.5	17.3	.5	65.0	.5	95.4	.5	99.6
.6	18.0	.6	68.0	.6	95.6	.6	99.6
.7	18.8	.7	71.8	.7	95.8	.7	99.7
.8	19.5	.8	75.0	.8	96.0	.8	99.8
.9	20.3	.9	77.0	.9	96.2	.9	99.9
4.0	21.0	8.0	78.8	12.0	96.3	16.0	100.0
.1	21.8	.1	80.2	.1	96.4		
.2	22.5	.2	81.2	.2	96.5		
.3	23.2	.3	82.2	.3	96.6		
.4	24.0	.4	83.1	.4	96.7		
.5	24.8	.5	84.0	.5	96.8		
.6	25.6	.6	84.8	.6	96.9		
.7	26.4	.7	85.3	.7	97.0		
.8	27.2	.8	86.1	.8	97.1		
.9	28.0	.9	86.7	.9	97.2		
5.0	28.9	9.0	87.2	13.0	97.3		
.1	29.7	.1	87.8	.1	97.4		
.2	30.5	.2	88.3	.2	97.5		
.3	31.3	.3	88.8	.3	97.6		
.4	32.1	.4	89.3	.4	97.7		
.5	33.0	.5	89.8	.5	97.8		
.6	34.0	.6	90.2	.6	98.0		
.7	35.0	.7	90.7	.7	98.1		
.8	36.0	.8	91.1	.8	98.2		
.9	37.0	.9	91.4	.9	98.3		
6.0	38.0	10.0	91.8	14.0	98.3		
.1	39.1	.1	92.1	.1	98.4		
.2	40.2	.2	92.3	.2	98.5		
.3	41.3	.3	92.6	.3	98.6		
.4	42.5	.4	92.9	.4	98.7		
.5	43.9	.5	93.2	.5	98.8		
.6	45.2	.6	93.5	.6	98.9		
.7	46.7	.7	93.7	.7	99.0		
.8	48.0	.8	94.0	.8	99.1		
.9	49.5	.9	94.2	.9	99.1		

Table 3 Umrechnung der Punktwerte bei A. DEMIRJIAN (13) in das Zahnalter (Mädchen)

Die summierten Punktwerte aller sieben Zähne geben eine Zahnreifepunktzahl, die direkt in ein Zahnalter umgeformt werden kann. (Table 3)

III. Untersuchungen

A) Material

a) Studie an 12- jährigen Schülerinnen bzw. 14- jährigen Schülern

Die Studie wurde an Schulkindern in einer kieferorthopädischen Praxis durchgeführt.

Eine Gruppe von 32 Mädchen bzw. 30 Knaben wurde zum Zeitpunkt der Vollendung des 12. bzw. 14. Lebensjahres geröntgt. ($\pm$ 8 Tage)

In einer Sitzung konnte sowohl eine Übersichtsröntgenaufnahme des Gesichtsschädels mit Hilfe des Orthopantomographen von Siemens gemacht werden, als auch eine Handröntgenaufnahme mit der Dentalröntgenröhre von Siemens erstellt werden.

b) Technische Geräte und ihre Verwendung

1. Orthopantomograph (Siemens) (25)

Mit Hilfe dieses technisch hochentwickelten Gerätes, das nach dem Schichtaufnahmeverfahren arbeitet, ließ sich in einem Arbeitsgang ein Übersichtsbild des gesamten Kiefer-Gesichtsbereichs einschließlich der Kiefergelenke herstellen.

Während der Aufnahme kreisten Röntgenröhre und Filmkassette orthoradial um den Kopf des zu untersuchenden Kindes. (Abb. 18)

Fundamentals of Dental Pantomography

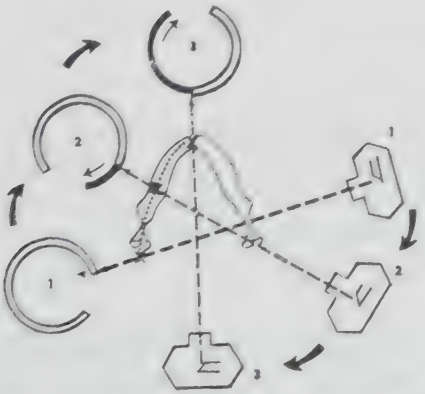


Figure 18. X-ray beam movement in pantomography using a continuously moving center of rotation. The diagram shows three positions during the continuous movement of tube head and cassette around the jaws. The rotational axis of the X-ray beam (x) moves continuously during the exposure cycle following the curvature of the jaws, and the film moves simultaneously around it's own axis.

Abb. 18 Orthopantomograph

Drei Drehzentren. Röntgenröhre und Filmhalter kreisen um drei Rotationspunkte.

Bei einer kritischen Betrachtung der Übersichtsröntgenaufnahmen der untersuchten Kinder konnte folgendes festgestellt werden:

a) Im Oberkiefer kommen alle Zahneinheiten, der Nasenboden und die Kieferhöhlen ohne störende Überlagerungen durch das übrige Schädelskelett zur Auswirkung.

Die einzelnen Zahneinheiten, deren Anlage und Entwicklungsstand (Wurzellänge, Verkalkung) in der vorliegenden Arbeit ja beurteilt werden müssen, können einschließlich ihrer Parodontien und der Alveolen-Kortikalis gut verfolgt werden.

Das gleiche gilt auch von den Zahnkeimen mit den sie umgebenden Zahnsäckchen.

Selbst die Pulpakammern und die periapikalen Räume der Zähne lassen bis zu einem gewissen Grad eine gute Beurteilung zu.

Es muß allerdings eingeräumt werden, daß die Übersichtsröntgenaufnahmen bezüglich der scharfen Zeichnung von Zähnen und knöcherner Spongiosa gegenüber einer intraoralen Zahnfilmaufnahme einige Wünsche offenlassen.

b) Beim Unterkiefer treten die besonders günstigen Verhältnisse im unteren Frontzahnbereich und die flüssigen, die Übersicht sehr erleichternden Übergänge zu den Seitenzahnbereichen in Erscheinung.

In der Kontinuität des Zahnbogens zeichnet sich deutlich ein Vorteil dieser röntgenologischen Befunderhebung gegenüber dem - aus zehn Einzelaufnahmen hergestellten und diese Kontinuität bei der Betrachtung der Bilder nicht gewährleistenden - intraoralen Zahnstatus ab.

Allgemein kann gesagt werden, daß dem Nachteil der teilweise unscharfen Zeichnung der Konturen bei Panoramaaufnahmen, die durch die vergrößerte Wiedergabe bedingt sind, eine Reihe von Vorteilen gegenüberstehen.

Das paradontale Band ist deutlicher zu erkennen. Auch die auf Zahnfilmen schwach gezeichneten kortikalen Schichten im Bereich der Alveolen der Zähne und am Arcus alveolaris lassen sich bisweilen besser beurteilen. Das gleiche gilt auch von den Zahnkeimen mit den sie umgebenden Zahnsäckchen.

Vor allen Dingen erfahren aber diese Details im Gegensatz zu den Aufnahmen einzelner Zahngruppen keine Unterbrechung; immer ist ihre Beurteilung im Zusammenhang mit der Umgebung möglich.

2. Dentalröntgenröhre von Siemens (33)

Die Röntgenaufnahmen der Hand und Handwurzel wurden mit dem Dentalröntgengerät von Siemens gemacht, das primär für Zahnaufnahmen bestimmt ist.
(Abb. 19)

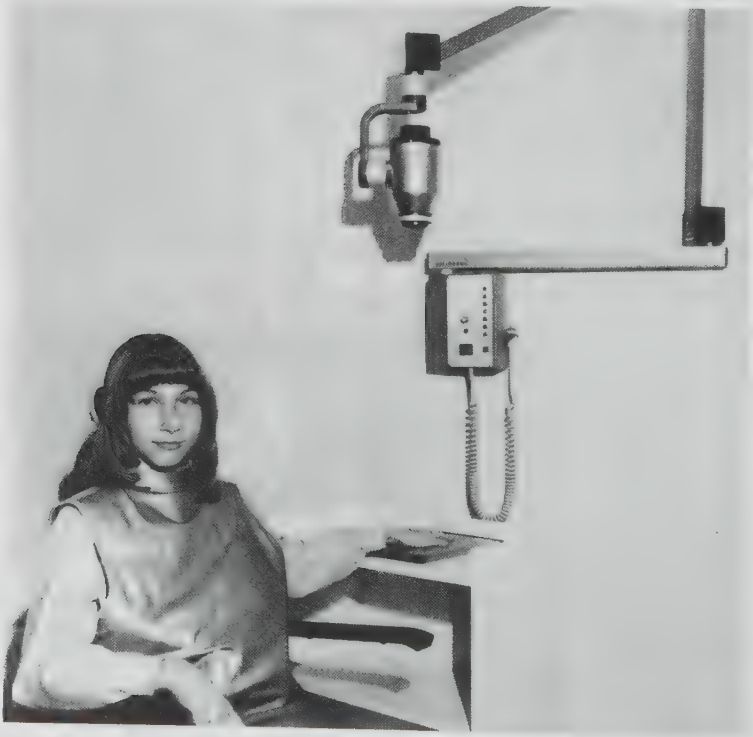


Abb. 19 Handröntgenaufnahme
mit dem Dentalröntgengerät

Bei der Einstellung der Geräte und bei der Plazierung der Hand mußte folgendes beachtet werden:

1. Da die senkrechte Zentralprojektion angewendet wurde, mußte die Achse des Nutzstrahlwinkels genau senkrecht auf die Kassettenmitte eingestellt werden. (Abb. 20)

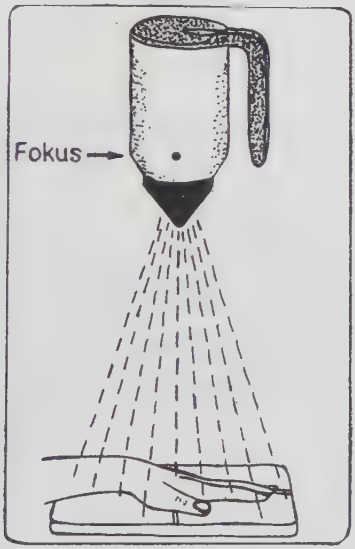


Abb. 20 Einstellung des Zentralstrahls

Der Film-Fokus-Abstand mußte 70 cm betragen;
die Belichtungszeit bei der Verwendung einer Verstärkerfolie von Kodak betrug 0,12 sec bei 50 KV.

2. Der Zentralstrahl war zu einer optimalen Darstellung der Handknochen auf einen Punkt zu richten, der die Strecke zwischen der Spitze des Mittelfingers und des distalen tastbaren Endes des Radius halbiert: also auf das distale Ende des Schaftes des Metacarpale III.

Die Hand war grundsätzlich von "dorsal" zu röntgen.

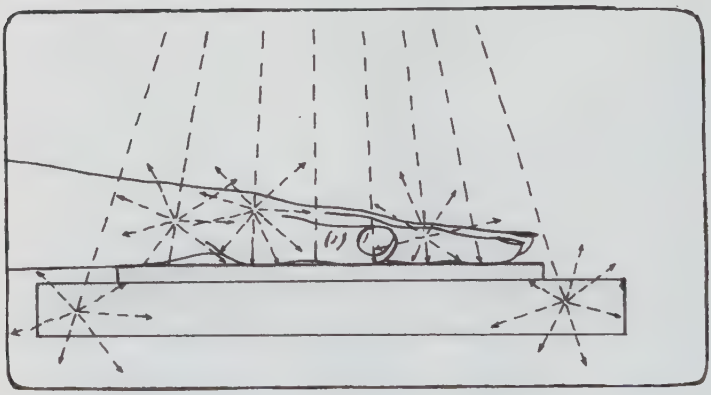


Abb. 21 Plazierung der Hand auf der Kassette

Die Hand mußte mit leicht gespreizten Fingern auf der Kassette aufliegen. Die Spitzen der Finger mußten vom oberen Rand der Kassette etwas entfernt sein.

Von den Unterarmknochen sollten 3- 4 cm auf dem Röntgenbild sichtbar werden, damit auch die Epiphysen von Radius und Ulna zur Beurteilung des Reifegrades des Kindes herangezogen werden konnten.

3. Rollenentwicklungsmaschine

Röntgenfilme können sowohl per Hand als auch durch einen Automaten entwickelt werden.
Ich benutzte zur Entwicklung meiner Filme den Entwicklungsautomaten von Agfa. (Abb. 22)

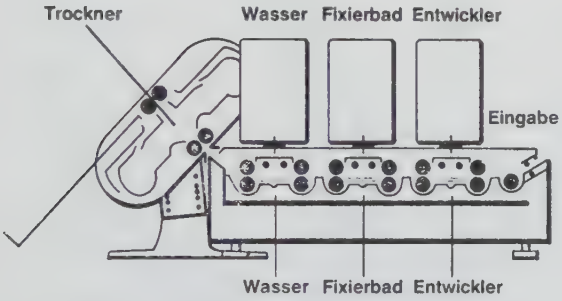


Abb. 22 Entwicklungsautomat (Agfa)

Durch den Entwicklungsprozeß wird das latente (nicht sichtbare) Bild in ein sichtbares Röntgenbild umgewandelt.

4. Röntgenbildbetrachter

Die Betrachtung der Röntgenaufnahmen erfolgte auf einem Lichtkasten (Abb. 23)

Abb. 23 Die deskriptive Anatomie durch das Röntgenbild

Auf der Röntgenaufnahme wird nicht nur der äußere Umriß des Knochens sichtbar, sondern es wird auch der "Grad der Verkalkung" deutlich.

Das Röntgenbild entspricht der Summe von Sägeschnitten des mazerierten Knochens.

Die kompakte Knochensubstanz stellt sich scharf und hell auf dem Röntgenbild dar, während sich die spongiose Knochensubstanz mit ihrer balkenartigen Spongiosa-Struktur deutlich davon abhebt. Die umgebenden Weichteile der Hand sind bei entsprechender Strahlendosierung nur als helle Schatten zu erkennen.

Die für die Bestimmung der skelettalen Reife wichtigen Entwicklungsstufen der Handknochen (Epiphysenentwicklung, Epiphysenfugenbreite, Entwicklung der Handwurzel- Knochenkerne und der Knochengröße) werden im Röntgenbild dank der Tatsache so gut sichtbar, daß der Knochen Depot-organ für Calcium und Phosphor ist.

Die Calcium- und Phosphorverbindungen sind wegen des Atomgewichts ihrer beiden Elemente für Röntgenstrahlen weniger durchlässig als die anderen organischen Verbindungen (Eiweiß, Wasser),die sich in der Hauptsache aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff aufbauen.

Für die Röntgenaufnahmen wurde die "linke Hand" gewählt. Dies geschah aus zweierlei Gründen:
Einmal liegen in der Literatur bei den vorliegenden Lehr - und Anschauungstafeln Röntgenaufnahmen der linken Hand vor - und zum anderen hatten sich bereits um die Jahrhundertwende Anthropologen auf internationalen Tagungen bei Messungen am menschlichen Körper grundsätzlich auf die "linke" Seite geeinigt.

B) Angewandte Methoden:

a) Bestimmung der skelettalen Reife
nach den Röntgenaufnahmen der Hand- und Handwurzel bei meinen untersuchten 30 Knaben und 32 Mädchen:

1. Das Verfahren nach A. BJÖRK (7)

Bei der Skelettalterbestimmung nach A. BJÖRK (7) wurde für jedes einzelne Kind festgestellt, welches Reifestadium es erreicht hatt. (siehe Tabelle I_M und I_K)

Da dieses Verfahren jedoch keine genauen Zahlenwerte liefert, wurde es nicht weiterverwendet.

2. Das Verfahren nach W.W. GREULICH / S.J. PYLE (23)

a) Bei der GREULICH / PYLE I Methode wurden zur Bestimmung der Skelettreife radius, ulna und 18 Fingerknochen herangezogen.

Es wurde dann - durch visuellen Vergleich mit den Abbildungen des Atlanten - für jeden einzelnen Knochen der entsprechende Altersstandard bestimmt und damit ein "Alterswert" festgelegt.

Die Festlegung der verschiedenen Alterswerte für die einzelnen Knochen liegt in Tabelle II_M und II_K fest.

Die Mittelwerte aus den 20 einzelnen Alterswerten der Knochen liegen in Tabelle VI (Spalte C) fest, wurden aber nicht verwendet.

b) W.W. GREULICH / S.J. PYLE II Methode (23) ist weitgehend der "RUS" Bestimmungsmethode von J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE (39) angepaßt.
Bei dieser Methode wurde der Mittelwert "nur" aus radius, ulna und den 11 Fingerknochen der Fingerreihen 1, 3 und 5 errechnet.

Die errechneten Mittelwerte liegen in Tabelle VI_M und VI_K (Spalte d) fest.
Sie wurden von mir weiterverwendet.

3. Das Verfahren nach J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE (39)

Es wurde durchgeführt, wie in der Theorie beschrieben.

Von den 3 Möglichkeiten der Reifebestimmung gab ich dem System "RUS" den Vorzug, da die Ausklammerung der Handwurzelknochen sich für die von mir untersuchte Altersgruppe förmlich anbot.
Die Handwurzelknochen der untersuchten Kinder hatten ihre Entwicklung bereits weitgehend abgeschlossen und konnten somit wenig über das Skelettalter aussagen.

4. Eigenes Verfahren

Mittelwertbildung aus GREULICH / PYLE (23) und TW 2 - Method (39):

$$S = \frac{A_{GP} + A_{TW} - 1}{2}$$

Da das Skelettalter nach TANNER / WHITEHOUSE (39) und das Skelettalter nach der Methode von GREULICH / PYLE (23) um fast ein Jahr differierte, ordnete ich jedem Kind einen Mittelwert aus dem Alter A_{GP} und dem Alter A_{TW} zu, ein "neues" Skelettalter S nach der Formel:

$$S = \frac{A_{GP} + A_{TW} - 1}{2}$$

Die S- Werte finden sich in Spalte e der Rechentabelle VI.

b) Bestimmung des Zahnalters
nach den Übersichtsröntgenaufnahmen des Gesichtsschädels bei meinen untersuchten 30 Knaben und 32 Mädchen:

1. Das Verfahren nach A. DEMIRJIAN (13) Z_1

Es wurde durchgeführt, wie in der Theorie beschrieben.

Dem Vorteil der differenzierten Bestimmungsmethode für jeden einzelnen Zahn bei A. DEMIRJIAN (13) und damit der genaueren Ergebnisse gegenüber den anderen, von mir beschriebenen Methoden, die jeden Zahn bei der Punkteverteilung gleich bewerten -
stand speziell für die von mir gewählte Altersgruppe der Nachteil gegenüber, daß die meisten der untersuchten Zähne im Alter von 14 Jahren - die 3. Molaren blieben ja außer Betracht - bereits den letzten, bzw. vorletzten Mineralisationsgrad erreicht hatten und sich damit die Merkmale der Kinder nur noch unwesentlich unterschieden.

Das maximale Wachstum der Knochen erleichterte zwar die Bestimmung des Skelettalters, das zu Ende gehende und damit minimale Wachstum der Zähne aber erschwerte die Zahnalterbestimmung nach A. DEMIRJIAN (13).

2. Eigenes Verfahren:

kombinierte Methode - P.M. SCHOPF / A. HASUND (Z_2) (36, 24)

Ich wählte nun als weitere Möglichkeit, das Zahnalter zu bestimmen, ein von mir entwickeltes Verfahren aus, das die Methoden von P.M. SCHOPF (36) und A. HASUND (24) kombiniert; bei dem aber vor allem die 3. Molaren berücksichtigt werden konnten.
Dabei wurde zur Punktwertbestimmung das Mineralisationsschema von P.M. SCHOPF (36) verwendet. (n = 10)
Bei dieser Methode erfolgt keine Gewichtung der Zähne untereinander.
Als zweiten Schritt rechnete ich nach A. HASUND (24) die Punktesummen aus, verzichtete aber auf die Umrechnung über die Kurve ins Zahnalter, da das Zahnalter und die Punktesumme in der von mir untersuchten Altersspanne nur linear voneinander abhängig sind.

c) Herstellung einer Beziehung zwischen Skelettalter und Zahnalter

1. Um eine Beziehung zwischen Skelett- und Zahnalter herauszufinden, wurden Streudiagramme aufgezeichnet. (Abb. 27 - 34)

   Sie stellen die Beziehung her zwischen Z_1 und S, bzw. Z_2 und S.

2. Unabhängig davon wurde mit Hilfe der Statistik "Art und Grad" der Abhängigkeit mit Hilfe der Gleichung der Regressionsgeraden, bzw. des Korrelationskoeffizienten bestimmt.

IV. Ergebnisse

A) Gesamtzusammenstellung der zur Skelettalterbestimmung, Zahnalterbestimmung und Untersuchung der Beziehung Skelettalter - Zahnalter verwendeten Tabellen, Schaubilder und Streudiagramme:

a) Skelettalterbestimmung

1. nach A. BJÖRK (5)

   a) Beobachtungstabellen: I_M und I_K

   b) Schaubild A (Abb. 24)
   Statistische Verteilung der untersuchten Kinder
   (Reifestadien nach A. BJÖRK) (5)

2. nach W.W. GREULICH / S.J. PYLE (23)

   a) Beobachtungstabellen: II_M und II_K

   b) Rechentabellen: VI_M und VI_K (Spalte d)

3. nach I.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE (39)

   a) Beobachtungstabellen: III_M und III_K

   b) Rechentabellen: VI_M und VI_K (Spalte a und b)

   c) Schaubild B (Abb. 25)
   Statistische Verteilung der untersuchten Kinder nach dem Skelettalter
   (TANNER / WHITEHOUSE) (39)

4. nach eigenem Verfahren:

Mittelwertbildung aus GREULICH / PYLE (23) und TW 2 Methode (39) nach der Formel:

$$S = \frac{A_{GP} + A_{TW} - 1}{2}$$

Rechentabellen: VI_M und VI_K (Spalte e)

b) Zahnalterbestimmung

1. nach A. DEMIRJIAN (13) (Z_1)
(ohne Berücksichtigung der 3. Molaren)

a) Beobachtungstabellen: IV_M und IV_K (Spalte f)

b) Rechentabellen: VI_M und IV_K (Spalte f)

2. nach eigenem Verfahren (Z_2)
(kombinierte Methode P.M. SCHOPF / A. HASUND (36, 24) mit Berücksichtigung der 3. Molaren)

a) Beobachtungstabellen: $V_a\ OK_M$ und $V_a\ UK_M$

b) Beobachtungstabellen: $V_b\ OK_K$ und $V_b\ UK_K$

c) Rechentabellen: VI_M und VI_K (Spalte g, h, i)

d) Schaubild C (Abb. 26)

Statistische Verteilung der untersuchten Kinder nach Punktesummen

(eigenes Verfahren - P.M. SCHOPF / A. HASUND) (36, 24)

c) Untersuchung der Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter mit Hilfe von Streudiagrammen

1. Rechentabellen: VI_M und VI_K

   Gesamtzusammenstellung der aus den Tabellen (II-V) errechneten Werte unter Zuhilfenahme sämtlicher verwendeter Bestimmungsmethoden.

2. Streudiagramme: D_1 und D_2 (Abb. 27 und 28)

   Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_1 (ohne Berücksichtigung der 3. Molaren) und Skelettalter S

   Z_1 gemessen in Jahren

3. Streudiagramme: E_1 und E_2 (Abb. 29 und 30)

   Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (OK) (mit Berücksichtigung der 3. Molaren) und Skelettalter S

   Z_2 gemessen in Punktesummen

4. Streudiagramme: F_1 und F_2 (Abb. 31 und 32)

   Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (UK) (mit Berücksichtigung der 3. Molaren) und Skelettalter S

5. Streudiagramme: G_1 und G_2 (Abb. 33 und 34)

   Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2

   (Mittelwert $\frac{(OK + UK)}{2}$

   und Skelettalter S

Tabelle I_M: Skelettalterbestimmung nach Björk (Mädchen)

	MP_{3*}	S	MP_{3cap}	DP_{3u}	PP_{3u}	MP_{3u}	R_u
1	----------						
2	-------						
3	-------						
4	-------						
5	----------						
6	----------		----------				
7	----------						
8	----------						
9	----------						
10	----------						
11	----------						
12	----------						
13	----------						
14	----------						
15	----------						
16	-------						
17	----------						
18	----------						
19	----------						
20	----------						
21	----------						
22	----------						
23	----------						
24	----------		----------				
25	----------						
26	----------						
27	----------		----------				
28	----------						
29	----------						
30	----------						
31	----------						
32	----------						

Tabelle I_K: Skelettalterbestimmung nach Björk (Knaben)

MP_3= S MP_{3cap} DP_{3u} PP_{3u} MP_{3u} R_u

1 ----------
2 ----------
3 ----------
4 ----------
5 ----------
6 ----------
7 ----------
8 ----------
9 ----------
10 ----------
11 -------
12 ----------
13 ----------
14 ----------
15 -------
16 ----------
17 ----------
18 ----------
19 -------
20 ----------
21 ----------
22 -------
23 -------
24 ----------
25 ----------
26 ----------
27 ----------
28 ----------
29 -------
30 ----------

Tabelle II_M: Skelettalterbestimmung nach Greulich/Pyle (I u. II)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l
1	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-1,5	0	0	0	-1,5
2	-2	-1	-1,5	-1,5	-1	-2	-2	-2	-1,5	-2	-1,5
3	-2	-1,5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
4	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2,5
5	-1	0	0,5	1	0	-1	0,5	-1	-1	-1	0
6	1	1	1,5	1,5	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	-1	1	-0,5	-0,5	-0,5	1	-1,5	-1,5	-1	-1	0
8	0	1,5	1	1	1	0	-1	-1	-1	-1	0
9	0	0	-0,5	-0,5	-1	-1	-1,5	0	0	0	-0,5
10	-1	3	0,5	0,5	-0,5	0	-1,5	-1,5	-1,5	-1	-1
11	0	2	0	0	-0,5	0	0	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
12	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1
13	1	2	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0	0	0	0,5
14	1,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1	1
15	0	3	0	0	0	0	-1	0	0	0,5	0,5
16	-1	-1	0	0	-0,5	-1	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-1
17	-1	-1	0	0	0	-0,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1	-1,5
18	0	0	2	2	1,5	1	0,5	1,5	1,5	1	1
19	1	0	2	2	1,5	0,5	0	0	0	0	0,5
20	1,5	1	1,2	1,2	1,2	0	1	1,5	1	1	1
21	1	4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
22	1,5	2	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	1	1
23	0	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0
24	2	1,5	1,2	1,2	1,2	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
25	0	0	-1	-1	-1	0	-0,5	-1	-1	-1	-1
26	0	2	1	1	1	-0,5	-1	0,5	0,5	1	1
27	1,5	3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5
28	1,5	-1	-0,5	-0,5	-0,5	0	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-2
29	0	1	0	0	0	1	-1	-0,5	-0,5	0,5	0,5
30	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-2	-1,5	-1,5	-1,5
31	0	0	-0,5	-0,5	-0,5	-1	0,5	-1,5	-1	-1	-1
32	1	1	0	0	0	0	1	0	0,5	0,5	0,5

In den Spalten (a-u) wird die "Abweichung in Jahren" von den Standardbildern des Atlasses (für 12- jährige Kinder) für jeden einzelnen Handknochen angegeben:

a radius
b ulna

	m	n	o	p	q	r	s	t	u
1	-1,5	-1	-1,5	-1,5	-2	-1,5	-2	-1,5	-1
2	-2	-2	-2	-2	-1,5	-2	-2	-1,5	-1,5
3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
4	-2,5	-2,5	-2	-2	-2,5	-1,5	-1,5	-2	-2
5	-1	-1	-2	-1,5	0,5	0,5	-1	-0,5	-0,5
6	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2
7	-1,5	-1	-1,5	-1	-0,5	0	0	-0,5	0
8	-1,5	-1,5	-2	-1,5	-1,5	-1	-1,5	-1	-1
9	0	0	0	0	0,5	0	0	-1	-1
10	-1,5	-1,5	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-0,5
11	-0,5	-0,5	-1	-1	0	0	-0,5	0	0
12	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1
13	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1
14	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1	1	1	1	1
15	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1
16	-1,5	-2	-2	-1,5	1	-2	-2	-2	-2
17	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,5	-0,5	-0,5
18	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	0,5	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	1
20	1,5	1	1	1,5	0,5	1	1	1	1
21	-0,5	0	0	0	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
22	1	1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5
23	0	0	0	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5
24	1,5	1,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
25	-1	-1	-1	-1,5	-1,5	-1,5	-1	-1	-1
26	1,5	1	1	0,5	0	1	1	1	1
27	1,5	2	2	2	2	2	1,5	1,5	2
28	-2	-2	-2	-2	0	-1,5	-1,5	-1	-2
29	-o,5	0	-0,5	0	-1	-	-	-	-1
30	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	1,5
31	-1	-1	-1,5	-2	0	-1,5	-1	-1	-1
32	0	-1	-1	-0,5	1	0,5	1,5	0	0

c,d,e,f	metacarpals	m,n,o,p	middle phalanges
g,h,i,k,l	proximal phalanges	q,r,s,t,u	distal phalanges

Tabelle II_K: Skelettalterbestimmung nach Greulich/Pyle (I u. II)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l
1	1	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
2	-1,25	-1,25	-0,5	-1	-1	-1	-1	-1,25	-1	-1	-0,75
3	-1,5	-1	-0,75	-0,75	-1	-0,5	-0,75	-0,5	-0,5	-0,5	-1,25
4	-1	-0,75	-0,5	-0,5	0	-0,5	0	-1	-1	-0,75	-0,75
5	-1	-1	-2	-1,5	-1,5	-1	-1,5	-0,5	-0,75	-0,5	-1
6	0	-0,75	0,5	0,5	0	0	0,5	0,75	0,75	1	0,5
7	-0,5	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
8	-0,25	1,25	0	0	1,5	1	0	1,5	1,5	1,5	-1,5
9	0	-1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
10	-0,5	-1,5	-0,5	-0,25	0	0	-1	-0,75	-1	-1,5	-1,25
11	-2	-1,5	-2	-2	-1,5	-1,5	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
12	0,5	1,5	1,5	1,5	1,25	1	0,5	0,5	0,5	0	0
13	-0,25	-1	-1	-1	-0,75	-1	-1	0	0	0	0
14	-0,5	-1,5	-1	-1	-1	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,75
15	-2	2	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-1,25
16	-0,25	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1	1	1	1
17	3	2,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3,5	3,5	3,5	2,5
18	-0,5	-1,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1,25	-1,25	-1	0,5
19	-2	-2,5	-2	-2	-1,5	-1,5	-2,5	-1,5	-1,5	-1,5	-2
20	-1,5	-2,5	-0,5	-1	-1,5	-1,5	-1,5	-1	-0,75	-0,75	-1,5
21	-1	-0,75	0	0	0,5	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5
22	-2	-1,25	-1,5	-1,5	-1,5	-2	-1,25	-1,5	-1	-1,25	-1
23	-3	-2,5	-1	-1,5	-1,5	-1	-2,25	-1	-1	-1	-2
24	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1
25	0	-0,25	1	0	0	0,5	1	0	0	0,5	0
26	3	2,5	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	3
27	-1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,75	-0,75	0	-0,5	-0,5	-0,25	0
28	-0,5	-1	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-0,75	-1	-1,25	-1,25	-1,25
29	-1,5	-1,5	-1	-1,5	-2	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-2
30	-1	-0,75	-1	-1	-1,5	-1,5	-0,75	-0,75	-1	-0,75	-0,5

In den Spalten (a-u) wird die "Abweichung in Jahren" von den Standardbildern des Atlasses (für 14- jährige Kinder) für jeden einzelnen Handknochen angegeben:

a radius

b ulna

	m	n	o	p	q	r	s	t	u
1	1	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2	-0,75	-0,75	-0,75	-1	-1	-1,5	-2	-1,5	-1,5
3	-1	-1,25	-1	-1	0	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25
4	-1	-1	-1	-1	-1	-1,5	-0,5	-0,75	-0,75
5	-0,75	-0,75	-0,5	-0,5	0,5	-1	-0,75	-0,5	-0,5
6	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5
7	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0,5	0,5	0	0,25	0,75	0,5	0,75	0,75
9	0	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5
10	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
11	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
12	0,5	0,5	0,5	1	-0,25	0,5	0,5	0,5	0,5
13	0	0	-0,25	-0,5	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
14	0	0	-0,5	-0,75	-0,75	-1,25	-1,25	-1,25	-1,25
15	-1	-1,25	-1,5	-1,5	-1	-2	-1,75	-1,5	-1,25
16	1	1	0,5	0,5	0,75	0,75	0	0,5	0
17	3,5	3	3	3	2	3	3	3	3
18	-0,5	-0,75	-0,75	-0,5	-0,5	-1,5	-2	-1,5	-1,5
19	-1,5	-1,5	-1,5	-1,25	-1	-2	-2	-1,5	-1,5
20	-0,75	-0,5	-0,5	-0,75	-1,5	-0,75	-1,5	-1	-1
21	0	0	0	0,5	0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
22	-0,75	-1	-1	-1	-0,75	-1,5	-1,25	-1,25	-1,5
23	-1	-1,25	-1,5	-1,25	-2,5	-1	-1,25	-1	-1,25
24	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0,75	0,5
25	0	0	-0,25	-0,25	0,5	0	-0,25	-0,25	-0,25
26	3	3	3	3	3	2,5	2,5	2,5	2,5
27	-0,5	-0,75	-0,75	-0,75	0,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
28	-0,75	-0,75	-1	-1	-0,75	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5
29	-1,5	-2	-1,75	-2	-2	-1,5	-1,5	-1,25	-1
30	-0,5	-0,75	-1	-1	-1	-1,25	-0,5	0	-0,75

c,d,e,f	metacarpals	m,n,o,p	middle phalanges
g,h,i,k,l	proximal phalanges	q,r,s,t,u	distal phalanges

Tabelle III_M: Skelettalterbestimmung nach Tanner/Whitehouse (TW 2 Method)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	78	118	43	37	23	44	37	26	36	35	33	33	32
2	114	118	31	23	23	31	27	35	36	28	33	33	32
3	114	74	31	16	17	31	27	26	27	28	33	22	22
4	78	74	31	23	23	31	27	26	27	28	33	22	22
5	114	118	43	37	35	44	37	35	36	35	48	33	32
6	160	118	43	47	48	56	44	42	45	43	68	49	47
7	160	118	31	37	35	31	27	26	27	28	33	22	22
8	160	118	43	37	48	31	27	35	27	28	33	22	22
9	160	74	43	37	35	44	37	35	27	28	48	22	32
10	114	118	43	37	35	31	37	35	27	28	33	33	32
11	160	118	31	37	35	44	37	35	36	28	33	22	32
12	160	118	43	47	35	44	37	35	36	35	48	33	32
13	160	118	43	47	35	44	37	35	36	35	48	33	32
14	160	118	43	47	48	44	37	35	36	35	48	37	32
15	160	118	43	37	48	44	37	35	27	28	48	33	32
16	160	118	43	37	35	44	27	35	27	28	48	22	22
17	114	74	43	37	35	31	27	26	27	28	48	22	22
18	160	74	43	47	35	44	44	35	36	35	51	33	32
19	160	118	43	47	35	44	37	35	36	35	51	33	32
20	160	118	53	37	35	44	37	35	36	35	48	33	32
21	160	173	43	37	35	44	37	35	36	28	48	33	32
22	160	118	43	47	35	44	44	42	36	35	51	33	32
23	160	173	43	37	35	44	37	35	36	35	48	22	22
24	160	118	53	47	48	56	44	42	45	43	68	49	47
25	160	118	43	37	35	44	37	35	36	28	33	33	32
26	160	173	43	37	35	44	27	35	27	28	48	33	22
27	160	173	43	53	48	44	44	42	45	43	68	37	47
28	114	118	43	37	35	31	27	26	27	28	33	22	32
29	160	118	31	37	35	44	37	35	27	28	33	33	32
30	114	118	43	37	35	44	37	35	27	28	33	22	22
31	160	74	43	37	35	44	37	35	36	28	48	33	32
32	160	118	43	37	35	44	37	35	36	35	51	33	32

In den Spalten sind die "Punktwerte" für die einzelnen Knochen eingetragen:

a Punktwert radius

b Punktwert ulna

Tabelle III_K: Skelettalterbestimmung nach Tanner/Whitehouse (TW 2 Method)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
1	138	181	36	43	43	38	40	39	32	32	66	49	48
2	87	58	26	19	29	26	23	21	22	23	26	18	27
3	138	58	36	31	29	26	31	21	22	23	38	18	27
4	87	107	36	31	29	38	31	30	22	23	38	28	27
5	138	107	36	19	18	26	23	21	22	23	38	28	27
6	138	58	49	31	29	38	31	30	32	32	38	28	27
7	138	107	36	43	29	38	31	30	32	32	38	28	27
8	138	107	36	43	43	38	40	39	32	32	46	28	27
9	138	107	36	31	43	38	40	30	32	32	46	28	27
10	138	58	36	31	29	26	23	21	22	23	46	18	27
11	59	107	26	19	18	26	23	21	22	23	26	28	27
12	138	107	36	43	29	38	31	30	32	32	38	28	27
13	138	107	36	31	29	26	31	30	32	23	26	18	18
14	87	58	36	31	29	26	23	21	32	23	26	28	27
15	87	58	26	19	18	26	23	21	22	23	26	18	27
16	138	107	36	43	43	38	31	30	32	32	38	28	27
17	138	181	67	52	52	67	53	51	52	49	66	49	48
18	87	58	26	19	18	52	31	30	22	32	38	28	18
19	87	58	26	19	18	26	23	21	22	23	26	18	18
20	138	58	26	19	18	26	23	21	22	23	26	28	27
21	138	107	36	31	29	38	31	30	32	32	38	28	27
22	87	107	26	31	29	26	23	21	22	23	26	18	18
23	87	58	26	19	18	26	23	21	22	23	26	28	27
24	138	107	49	43	43	38	31	39	32	32	46	28	27
25	138	107	36	31	43	38	31	30	32	23	38	28	27
26	213	181	67	52	52	67	53	51	52	49	66	49	48
27	87	107	36	31	43	38	31	30	22	23	38	18	18
28	87	107	36	19	18	26	23	21	22	23	26	18	18
29	87	107	26	19	18	26	23	21	22	15	38	18	18
30	87	107	36	31	29	38	23	21	22	23	26	28	27

c,d,e	Punktwert	metacarpals	I, III, V
f,g,h	Punktwert	proximal phalanges	I, III, V
i,j	Punktwert	middle phalanges	III, V
k,l,m	Punktwert	distal phalanges	I, III, V

Tabelle IV_M: Zahnalterbestimmung nach Demirjian (Z_1)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	M_2	M_1	PM_2	PM_1	C	I_2	I_1	M_2	M_1	PM_2	PM_1	C	I_2	I_1
1	F	H	F	F	G	H	H	14,2	16,2	13,5	13,1	11,6	14,2	12,9
2	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
3	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
4	F	H	F	G	G	H	H	14,2	16,2	13,5	13,4	11,6	14,2	12,9
5	G	H	F	G	H	H	H	14,5	16,2	13,5	13,4	12,4	14,2	12,9
6	G	H	G	G	H	H	H	14,5	16,2	13,8	13,4	12,4	14,2	12,9
7	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
8	G	H	G	G	H	H	H	14,5	16,2	13,8	13,4	12,4	14,2	12,9
9	G	H	F	G	H	H	H	14,5	16,2	13,5	13,4	12,4	14,2	12,9
10	F	H	F	G	H	H	H	14,2	16,2	13,5	13,4	12,4	14,2	12,9
11	F	H	F	G	H	H	H	14,2	16,2	13,5	13,4	12,4	14,2	12,9
12	F	H	F	F	G	H	H	14,2	16,2	13,5	13,1	11,6	14,2	12,9
13	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
14	G	H	G	G	H	H	H	14,5	16,2	13,8	13,4	12,4	14,2	12,9
15	G	H	F	G	G	H	H	14,5	16,2	13,5	13,4	11,6	14,2	12,9
16	G	H	H	H	H	H	H	14,5	16,2	14,6	14,1	12,4	14,2	12,9
17	G	H	H	H	H	H	H	14,5	16,2	14,6	14,1	12,4	14,2	12,9
18	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
19	G	H	G	G	H	H	H	14,5	16,2	13,8	13,4	12,4	14,2	12,9
20	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
21	F	H	H	H	H	H	H	14,2	16,2	14,6	14,1	12,4	14,2	12,9
22	G	H	H	H	H	H	H	14,5	16,2	14,6	14,1	12,4	14,2	12,9
23	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
24	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
25	G	H	F	H	H	H	H	14,5	16,2	13,5	14,1	12,4	14,2	12,9
26	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
27	G	H	H	H	H	H	H	14,5	16,2	14,6	14,1	12,4	14,2	12,9
28	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
29	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	13,4	14,2	12,9
30	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9
31	G	H	H	H	H	H	H	14,5	16,2	14,6	14,1	12,4	14,2	12,9
32	G	H	G	H	H	H	H	14,5	16,2	13,8	14,1	12,4	14,2	12,9

Tabelle IV_K: Zahnalterbestimmung nach Demirjian (Z_1)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	M_2	M_1	PM_2	PM_1	C	I_2	I_1	M_2	M_1	PM_2	PM_1	C	I_2	I_1
1	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
2	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
3	H	H	H	H	H	H	H	15,4	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
4	G	H	F	H	H	H	H	13,6	19,3	12,8	13,5	11,9	13,7	11,8
5	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
6	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
7	G	H	H	G	H	H	H	13,6	19,3	14,4	12,7	11,9	13,7	11,8
8	G	H	H	G	H	H	H	13,6	19,3	14,4	12,7	11,9	13,7	11,8
9	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
10	G	H	G	H	H	H	H	13,6	19,3	13,2	13,5	11,9	13,7	11,8
11	G	H	G	H	H	H	H	13,6	19,3	13,2	13,5	11,9	13,7	11,8
12	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
13	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
14	G	H	G	H	G	H	H	13,6	19,3	13,2	13,5	11	13,7	11,8
15	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11.9	13,7	11,8
16	G	H	G	H	H	H	H	13,6	19,3	13,2	13,5	11,9	13,7	11,8
17	H	H	H	H	H	H	H	15,4	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
18	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
19	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
20	G	H	F	G	H	H	H	13,6	19,3	12,8	12,7	11,9	13,7	11,8
21	H	H	H	H	H	H	H	15,4	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
22	G	H	F	G	H	H	H	13,6	19,3	12,8	12,7	11,9	13,7	11,8
23	H	H	H	H	H	H	H	15,4	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
24	H	H	H	H	H	H	H	15,4	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
25	G	H	G	H	G	H	H	13,6	19,3	13,2	13,5	11	13,7	11,8
26	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
27	G	H	G	H	G	H	H	13,6	19,3	13,2	13,5	11	13,7	11,8
28	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
29	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8
30	G	H	H	H	H	H	H	13,6	19,3	14,4	13,5	11,9	13,7	11,8

In den Spalten (a-g) sind die "Verkalkungsgrade" für die 7 Zähne des rechten Unterkiefers eingetragen, von Spalte (h-n) die "Punktwerte".

Tabelle V_a OK_M: Zahnalterbestimmung nach eigenem Verfahren (Kombination Schopf-Hasund)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o
	M_3	M_2	PM_2	PM_1	C	I_2	I_1	I_1	I_2	C	PM_1	PM_2	M_2	M_3
1	1	8	7	7	7	–	9	9	–	7	6	6	7	–
2	1	8	8	9	8	9	10	10	9	8	9	7	8	1
3	4	9	8	9	8	10	10	10	10	9	9	8	9	4
4	3	7	8	8	8	9	9	9	9	8	8	8	7	–
5	3	7	7	7	9	10	10	10	10	9	7	7	7	3
6	2	7	9	9	8	10	10	10	10	8	9	9	7	–
7	3	8	9	–	8	9	10	10	9	8	–	9	8	3
8	3	8	7	7	8	10	10	10	10	8	7	8	9	3
9	3	7	7	–	8	9	9	9	9	8	–	7	8	3
10	2	7	8	8	8	10	10	10	10	9	8	7	7	2
11	2	8	9	9	8	9	9	9	9	9	–	9	8	2
12	2	7	8	8	8	10	9	9	10	8	8	8	7	2
13	4	9	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	9	4
14	3	8	8	9	9	10	10	10	10	8	–	9	9	3
15	3	7	7	8	8	10	10	10	10	8	8	8	7	2
16	–	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6	–
17	2	7	7	9	8	10	10	10	10	8	9	7	7	1
18	1	8	8	–	9	10	10	10	10	9	–	9	9	1
19	4	9	9	10	8	10	10	10	10	8	10	9	9	4
20	3	9	8	–	9	10	10	10	10	9	–	8	9	3
21	2	7	9	9	9	10	10	10	10	9	9	9	7	3
22	2	8	9	10	9	10	10	10	10	9	10	9	8	2
23	1	8	9	–	9	9	9	9	9	9	–	9	7	–
24	3	9	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	9	3
25	1	8	8	9	8	10	10	10	10	8	9	8	8	1
26	3	8	9	8	8	9	–	–	9	8	10	9	8	3
27	1	8	8	8	8	10	10	10	10	8	9	9	9	2
28	2	8	8	–	8	9	9	9	9	8	–	8	8	1
29	2	9	9	10	9	10	10	10	10	8	10	10	9	3
30	2	8	9	9	8	10	10	10	10	9	10	8	8	1
31	1	8	10	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	1
32	3	8	9	10	9	10	10	10	10	9	10	8	9	3

In den Spalten a-o werden den 16 Zähnen Punktwerte (1-10) für die einzelnen Mineralisationsstadien zugeordnet.

x bedeutet: Zahn fehlt

Tabelle V_a UK_M: Zahnalterbestimmung nach eigenem Verfahren (Kombination Schopf-Hasund)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o
	M_3	M_2	PM_2	PM_1	C	I_2	I_1	I_1	I_2	C	PM_1	PM_2	M_2	M_3
1	1	7	-	7	8	10	10	10	10	9	7	-	7	-
2	2	9	8	10	9	10	10	10	10	9	10	8	8	2
3	3	8	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	9	3
4	-	6	7	8	9	9	10	10	9	9	8	7	7	1
5	3	7	7	8	9	10	10	10	10	9	8	7	8	3
6	1	8	8	8	9	10	10	10	10	9	8	8	8	1
7	3	8	9	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	3
8	3	8	8	8	9	10	10	10	10	9	8	8	8	3
9	1	7	7	7	10	10	10	10	10	10	8	7	8	2
10	-	7	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	7	-
11	-	7	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	6	-
12	1	7	7	8	8	10	10	10	10	8	8	7	7	-
13	3	8	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	3
14	3	8	8	9	10	10	10	10	10	10	9	8	9	3
15	2	8	8	8	8	10	10	10	10	8	8	7	8	2
16	1	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	2
17	2	8	10	10	9	10	10	10	10	9	10	9	8	2
18	-	9	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	-
19	4	9	8	8	9	10	10	10	10	8	8	8	8	4
20	1	8	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	2
21	1	7	9	9	10	10	10	10	10	10	10	9	7	1
22	1	8	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	8	1
23	1	7	8	9	10	10	10	10	10	10	9	8	8	1
24	2	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	3
25	-	8	7	9	10	10	10	10	10	10	9	7	8	1
26	1	7	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	1
27	1	8	10	10	9	10	10	10	10	9	10	10	9	2
28	1	8	8	10	9	10	10	10	10	9	9	8	8	2
29	1	8	9	9	9	10	10	10	10	9	9	8	8	2
30	-	7	8	9	9	10	10	10	10	9	9	8	7	-
31	1	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	2
32	2	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	2

Da bei allen untersuchten Mädchen - Ausnahme Mädchen Nr. 1 (9 Punkte) - die 1. Molaren voll entwickelt waren (10 Punkte), wurden sie nicht in die Tabelle aufgenommen.

Tabelle V_b OK_K: Zahnalterbestimmung nach eigenem Verfahren (Kombination Schopf-Hasund)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
	M_3	M_2	PM_2	PM_1	C	C	PM_1	PM_2	M_2	M_3
1	6	9	9	-	10	10	-	9	9	6
2	4	9	8	10	10	10	10	8	9	4
3	4	9	9	10	9	9	10	10	9	5
4	1	8	8	9	9	9	8	8	9	-
5	-	8	10	10	9	10	10	10	9	1
6	5	9	9	10	9	9	10	9	9	5
7	3	9	10	10	10	10	10	10	9	4
8	4	9	9	10	9	9	10	9	9	4
9	4	9	10	10	10	10	10	10	9	3
10	-	8	10	-	8	8	-	10	8	-
11	3	7	10	10	8	8	10	10	7	3
12	4	9	9	10	9	9	10	10	9	4
13	3	9	10	9	9	9	9	10	9	3
14	3	8	10	10	8	8	9	10	8	3
15	3	9	10	10	8	8	10	10	9	3
16	3	8	8	10	9	9	10	8	8	3
17	2	9	10	10	10	10	10	10	9	-
18	3	9	10	10	9	9	10	9	9	4
19	3	9	10	10	9	9	10	10	9	3
20	2	9	8	9	8	8	9	8	8	3
21	5	9	10	10	9	9	10	10	9	5
22	2	8	8	-	9	9	9	8	8	2
23	3	9	-	10	10	10	10	-	9	3
24	2	10	10	-	10	10	-	10	10	2
25	4	8	9	10	8	8	10	9	8	4
26	-	4	10	-	9	9	-	10	9	-
27	2	9	10	9	8	8	9	-	8	3
28	3	9	10	-	9	9	-	10	9	3
29	2	8	10	10	8	8	10	10	8	3
30	2	9	10	10	9	9	10	10	9	2

In den Spalten a-k werden den 16 Zähnen Punktwerte (1-10) für die einzelnen Mineralisationsstadien zugeordnet.
x bedeutet: Zahn fehlt

Tabelle V_b UK_K: Zahnalterbestimmung nach eigenem Verfahren (Kombination Schopf-Hasund)

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k
	M_3	M_2	PM_2	PM_1	C	C	PM_1	PM_2	M_2	M_3
1	5	9	9	10	9	9	10	-	9	6
2	4	9	10	9	10	10	10	8	9	3
3	4	9	9	10	9	9	10	9	9	5
4	4	8	8	10	8	8	9	8	8	4
5	2	8	10	10	10	10	10	10	9	2
6	4	8	9	10	10	10	10	9	9	4
7	3	9	9	10	10	10	10	9	9	3
8	3	9	10	10	9	9	10	10	9	3
9	3	9	10	10	10	10	10	10	9	3
10	-	7	8	8	9	9	9	8	7	-
11	3	8	9	9	8	8	9	9	8	3
12	5	9	10	10	10	10	10	10	9	5
13	2	8	9	10	9	9	10	9	9	2
14	2	8	8	9	8	8	9	8	8	2
15	4	8	9	9	8	8	9	9	9	4
16	2	8	8	9	10	10	9	8	8	3
17	6	10	10	-	10	10	-	10	10	6
18	4	8	10	10	10	10	10	10	9	4
19	3	9	10	10	10	10	10	10	9	3
20	2	9	7	8	9	9	8	7	9	2
21	4	10	9	10	10	10	10	9	10	4
22	2	8	8	9	9	9	9	8	8	2
23	3	9	9	-	9	9	10	10	10	3
24	2	9	10	10	10	10	10	10	9	2
25	-	8	8	10	9	9	-	8	8	2
26	5	9	9	10	10	10	10	9	9	5
27	2	7	8	9	8	8	9	8	7	1
28	2	9	9	10	9	9	10	9	9	3
29	1	8	10	10	9	9	10	9	8	2
30	-	10	10	10	10	10	10	10	9	-

Da bei allen untersuchten Knaben die ersten Molaren und beide Schneidezähne voll entwickelt waren (10 Punkte), wurden sie nicht in die Tabelle aufgenommen.

Rechentabelle VI_M: Gesamtzusammenstellung der aus den Tabellen (II-V) errechneten Werte

	TW	TW	GP_I	GP_{II}	S	D	UK	OK	$\frac{OK+UK}{2}$
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1	575	12	10,7	10,36	10,7	11,8	120	116	118
2	564	11,85	10,3	10,39	10,6	13,7	135	126	130
3	468	11,85	10,0	10,1	9,8	13	137	137	137
4	445	10,2	10,1	10,04	9,6	11,8	122	125	124
5	647	12,7	11,5	11,6	11,6	12,8	129	126	128
6	810	14,3	13,6	13,24	13,3	12,8	128	128	128
7	597	12,2	11,4	11,63	11,4	13,5	135	134	134
8	631	12,6	11,4	12	11,8	12,8	132	128	130
9	622	12,5	11,7	11,85	11,7	12,8	127	127	127
10	603	12,3	11,1	11,85	11,6	12,5	126	126	126
11	648	12,7	11,6	12,11	11,9	12,5	125	133	129
12	703	13,3	12,8	12,73	12,5	11,65	131	126	128
13	703	13,3	12,3	12,71	12,5	13,5	133	138	136
14	720	13,45	12,7	13	12,7	12,8	137	135	136
15	690	13,15	11,45	12,16	12,2	12	127	126	126
16	646	12,7	10,9	10,94	11,3	14,6	139	134	136
17	534	11,45	11,1	11,1	10,8	14,6	137	125	131
18	669	12,95	12,7	12,32	12,1	13,7	137	132	134
19	706	13,3	12,5	12,47	12,4	13,1	134	130	132
20	703	13,3	12,9	13,05	12,7	13,7	131	136	134
21	741	13,65	11,95	13,1	12,8	14,3	133	133	133
22	720	13,45	13,05	13,13	12,8	14,3	134	136	135
23	727	13,6	12,45	12,79	12,7	13,5	131	130	130
24	820	14,4	13,5	13,54	13,5	13,5	141	136	139
25	671	13,0	11,1	11,54	11,8	13,2	129	128	128
26	712	13,4	12,7	12,71	12,6	13,5	129	134	132
27	847	14,6	13,7	13,84	13	14,3	138	130	134
28	573	12	10,7	10,73	10,9	13,5	132	127	130
29	650	12,8	11,8	12	11,9	13,5	132	139	136
30	595	12,2	10,7	10,95	11,1	13,5	126	132	129
31	642	12,7	11,1	11,57	11,6	14,3	139	132	136
32	696	13,2	12,2	12,47	12,3	13,5	138	138	138

a Punktesumme Tanner / Whitehouse

b Skelettalter Tanner / Whitehouse

c Skelettalter Greulich / Pyle I (nicht weiterverwendet)

d Skelettalter Greulich / Pyle II

Rechentabelle VI_K: Gesamtzusammenstellung der aus den Tabellen (II-V) errechneten Werte

	a	b	c	d	e	f	g	h	$\frac{OK+UK}{2}$
1	785	16,8	15,05	15,09	15,4	15,8	135	148	142
2	405	13	12,91	12,85	12,4	15,8	142	142	142
3	498	14,3	13,09	13	13,2	18	143	144	144
4	527	14,5	13,26	13,29	13,4	14	136	129	132
5	526	14,5	13,1	13,07	13,3	15,8	141	137	139
6	561	14,8	14,29	14,1	14	15,8	143	144	144
7	609	15,15	13,97	14,04	14,1	14,8	142	145	144
8	649	15,4	14,52	14,42	14,8	14,4	142	142	142
9	628	15,3	14,44	14,18	14,2	15,8	144	145	144
10	498	14,3	13,23	13,15	13,2	14,4	121	130	126
11	423	13,35	12,4	12,26	12,3	14,4	134	136	135
12	609	15,15	14,65	14,66	14,4	15,8	148	142	145
13	545	14,7	13,56	13,56	13,6	15,8	137	140	138
14	447	13,7	13,21	13,16	12,9	14,7	130	138	134
15	394	12,8	12,68	12,36	12,1	15,8	139	140	140
16	623	15,25	14,79	14,49	14,4	14,4	135	136	136
17	925	17,1	17,1	16,88	16,5	18	152	140	146
18	459	13,85	13,21	13,18	13.	15,8	145	142	144
19	385	12,6	12,29	12,06	11,8	15,8	144	142	143
20	455	13,8	12,96	12,56	12,7	13,2	130	132	131
21	597	15,1	13,74	13,56	13,8	18	146	146	146
22	457	14,3	12,62	12,65	13,0	13,2	136	132	134
23	407	13	12,51	11,9	12,0	18	142	144	143
24	653	15,45	14,59	14,52	14,5	18	142	144	143
25	602	15,1	14,1	14	14,0	14,7	132	138	135
26	1000	18,2	16,92	16,81	17	15,8	146	136	141
27	522	14,5	13,33	13,4	13,4	14,7	127	136	132
28	444	13,65	12,84	13,06	12,8	15,8	139	142	140
29	438	13,55	12,47	12,39	12,5	15,8	136	137	136
30	498	14,3	13,21	13,15	13,2	15,8	138	140	139

e Skelettalter Mittelwert aus Tanner / Whitehouse und Greulich / Pyle

f Zahnalter Demirjian Z_1

g Punktesumme Schopf / Hasund Z_2 (Unterkiefer)

h Punktesumme Schopf / Hasund Z_2 (Oberkiefer)

i Punktesumme Mittelwert aus Punktesumme OK und UK

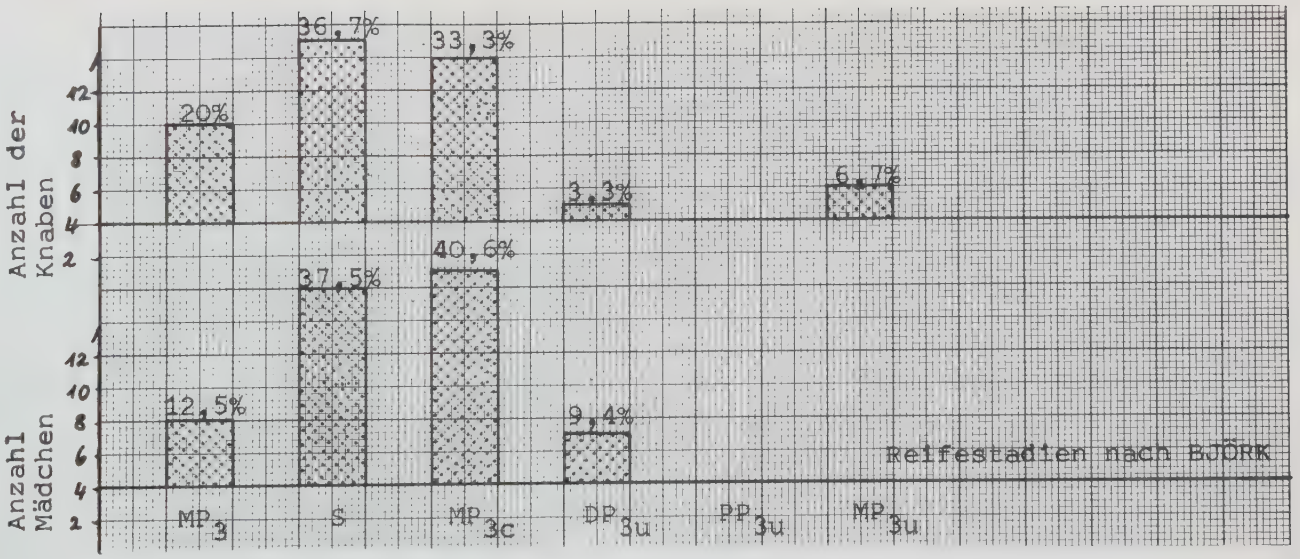


Abb. 24 - Schaubild A:
Statistische Verteilung der untersuchten Kinder
(Reifestadien nach A. BJÖRK) (5)
n = 30, O Knaben, 14 Jahre n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre
Die jeweiligen Prozentsätze geben den Anteil der Mädchen bzw. den Anteil der Knaben an, die gerade das betreffende Reifestadium erreicht haben.

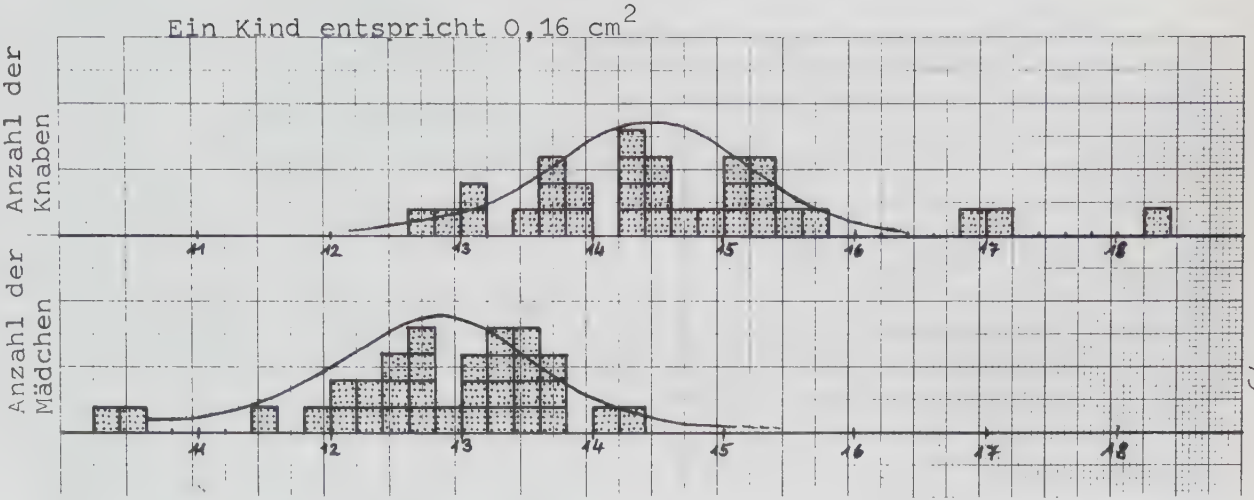


Abb. 25 - Schaubild B:

Statistische Verteilung der untersuchten Kinder nach dem Skelettalter von J. TANNER / R. WHITEHOUSE (39)

n = 30, ♂ Knaben, 14 Jahre

n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre

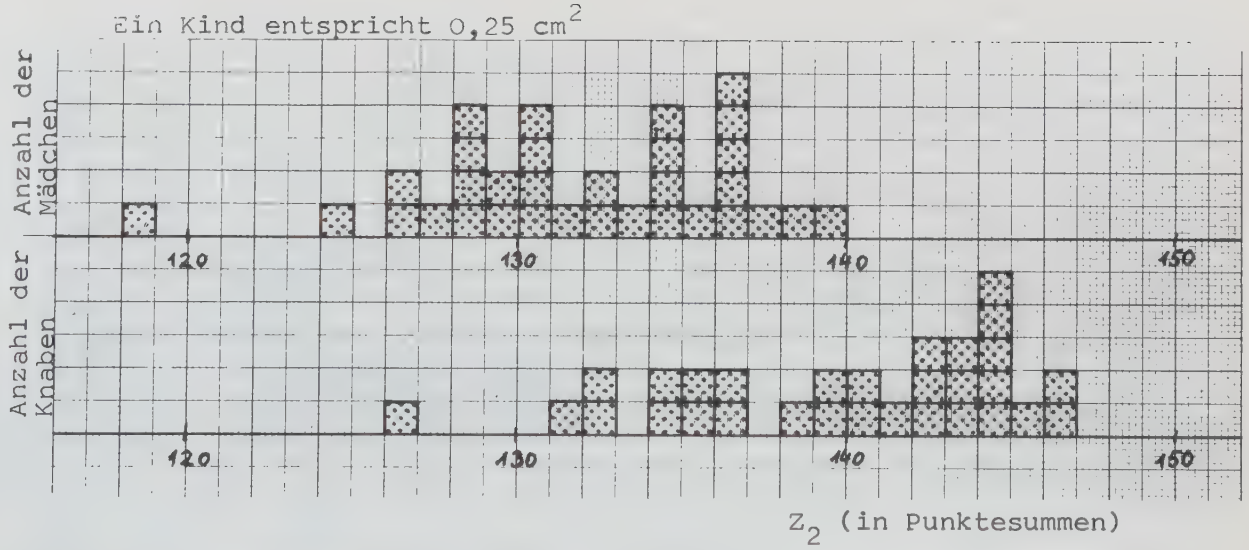


Abb. 26 – Schaubild C:

Statistische Verteilung der untersuchten Kinder nach Punktesummen (eigenes Verfahren P. SCHOPF / A. HASUND) (36, 24)

n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre

n = 30, ♂ Knaben, 14 Jahre

Abb. 27 - Streudiagramm D_1:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_1 (A. DEMIRJIAN) und Skelettalter S

n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre

Abb. 28 - Streudiagramm D_2:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_1 (A. DEMIRJIAN) und Skelettalter S

n = 30, ♂ Knaben, 14 Jahre

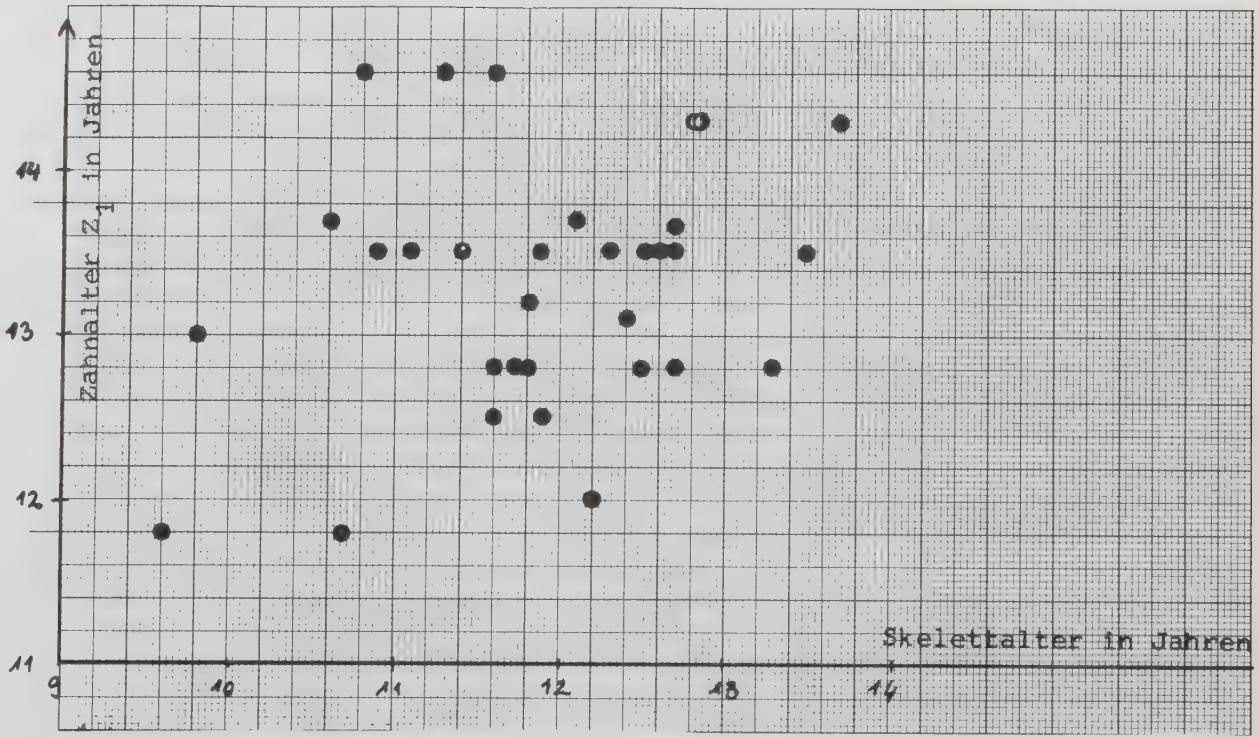


Abb. 27 - (Text S. 81)

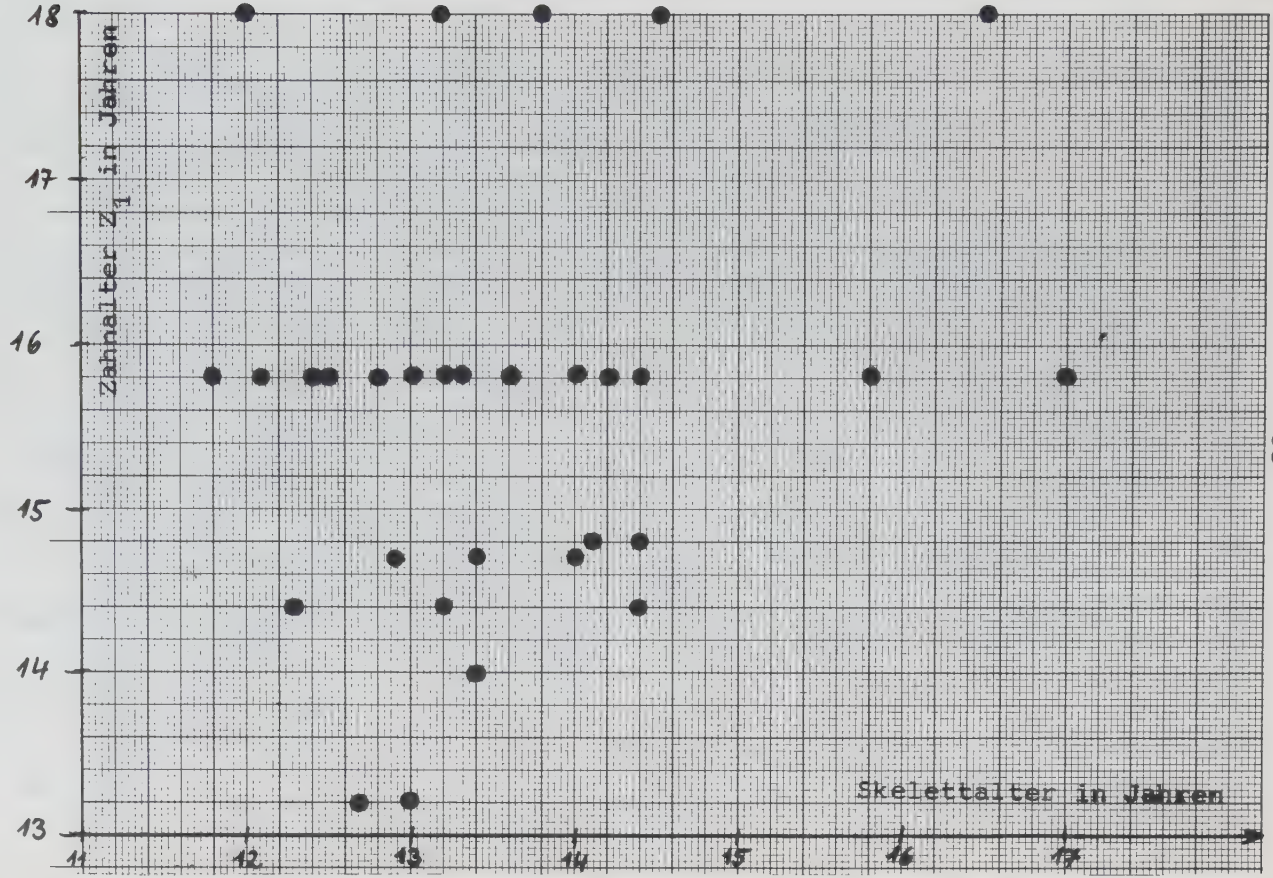


Abb. 28 - (Text S. 81)

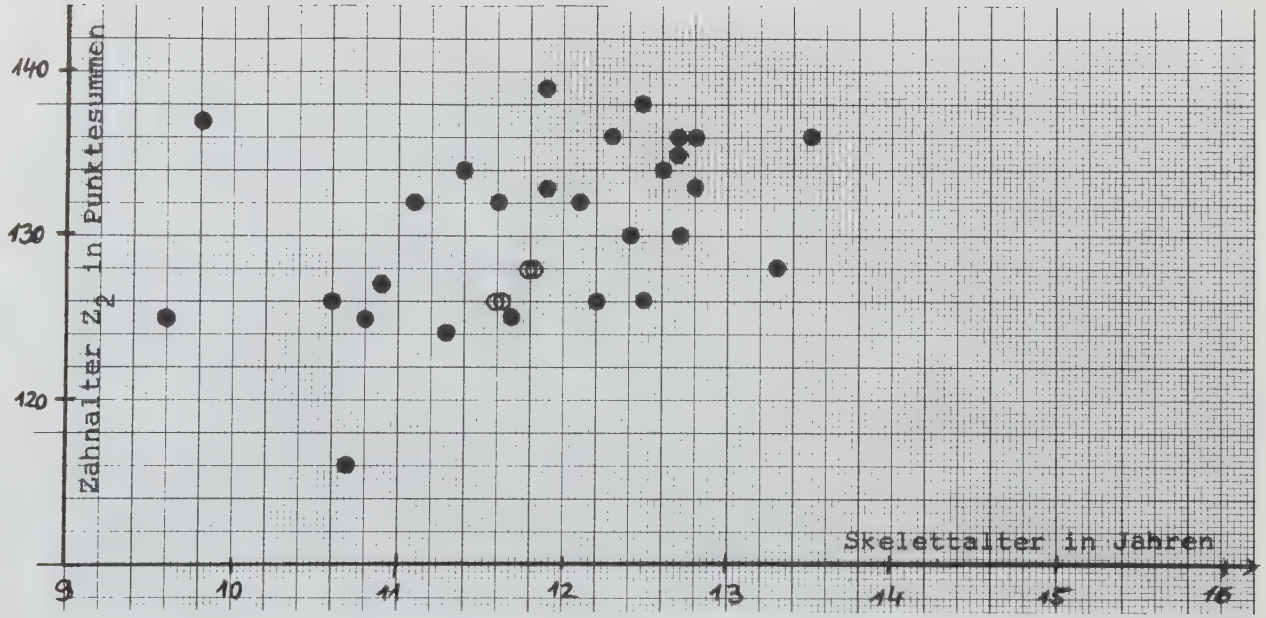


Abb. 29 - Streudiagramm E_1:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (OK)
und Skelettalter S

n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre

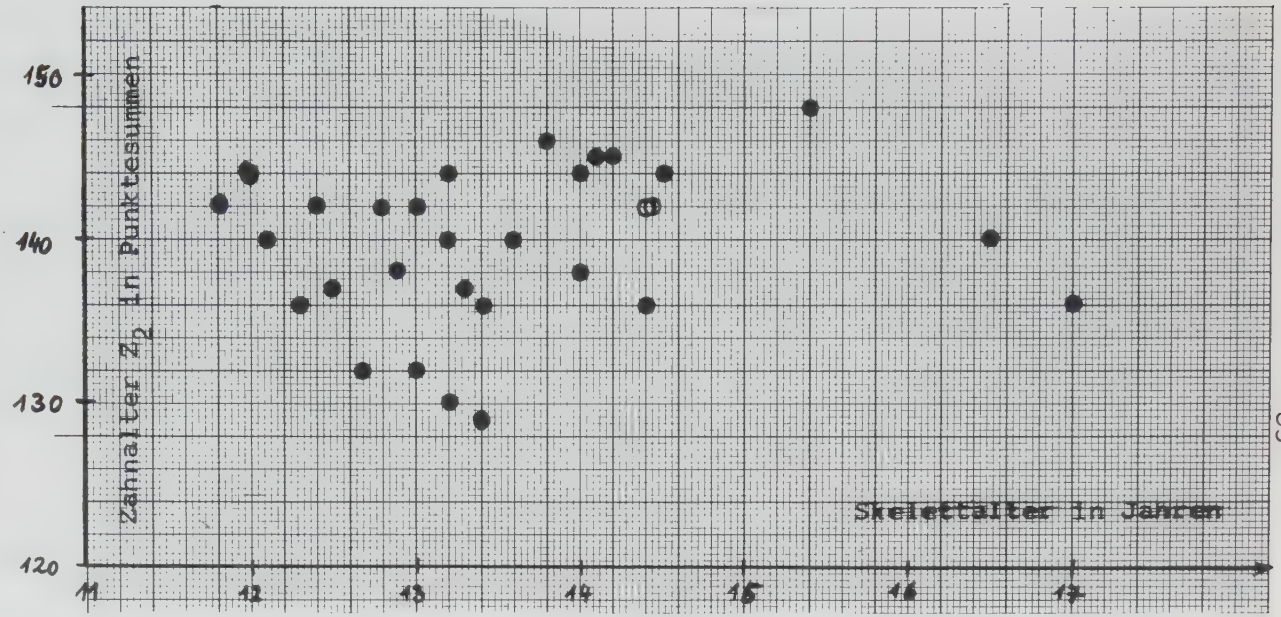


Abb. 30 - Streudiagramm E_2:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (OK)
und Skelettalter S

n = 30, ♂ Knaben, 14 Jahre

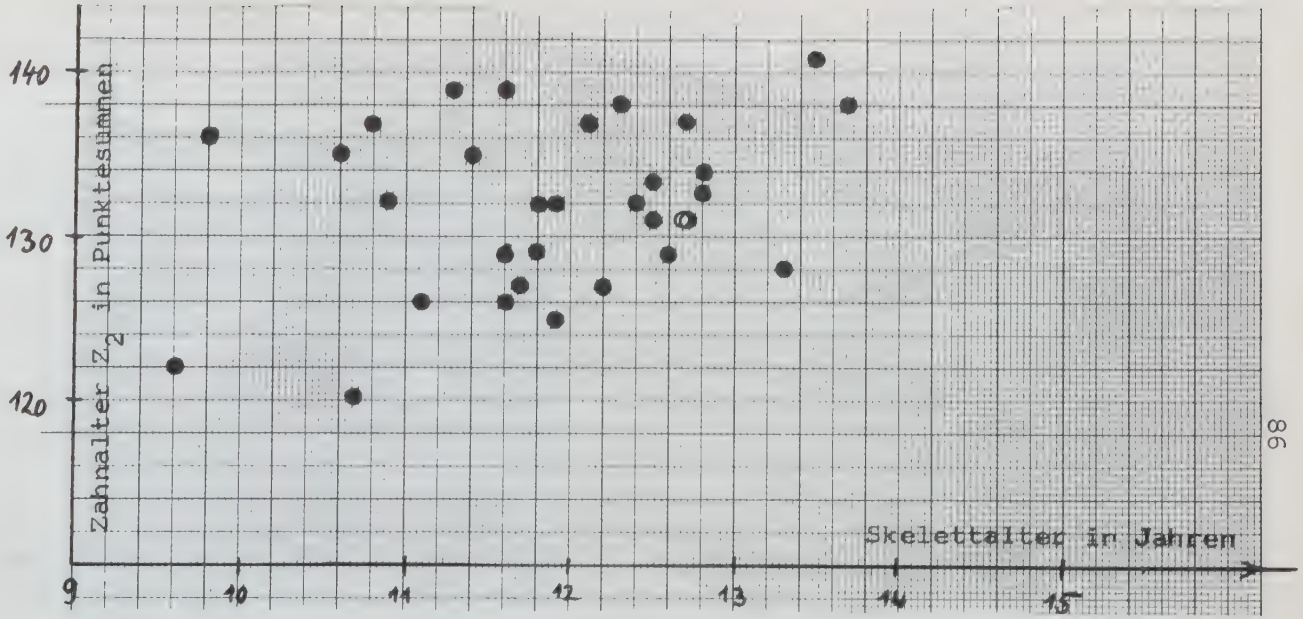


Abb. 31 - Streudiagramm F_1:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (UK)
und Skelettalter S

n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre

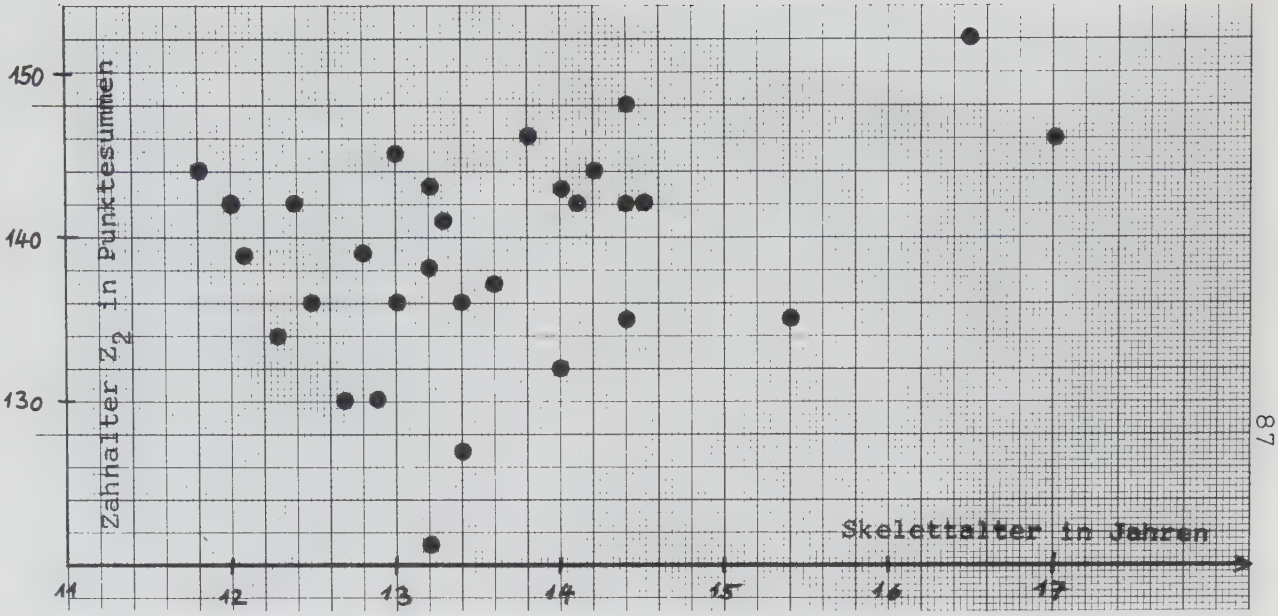


Abb. 32 - Streudiagramm F_2:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (UK)
und Skelettalter S

n = 30, ♂ Knaben, 14 Jahre

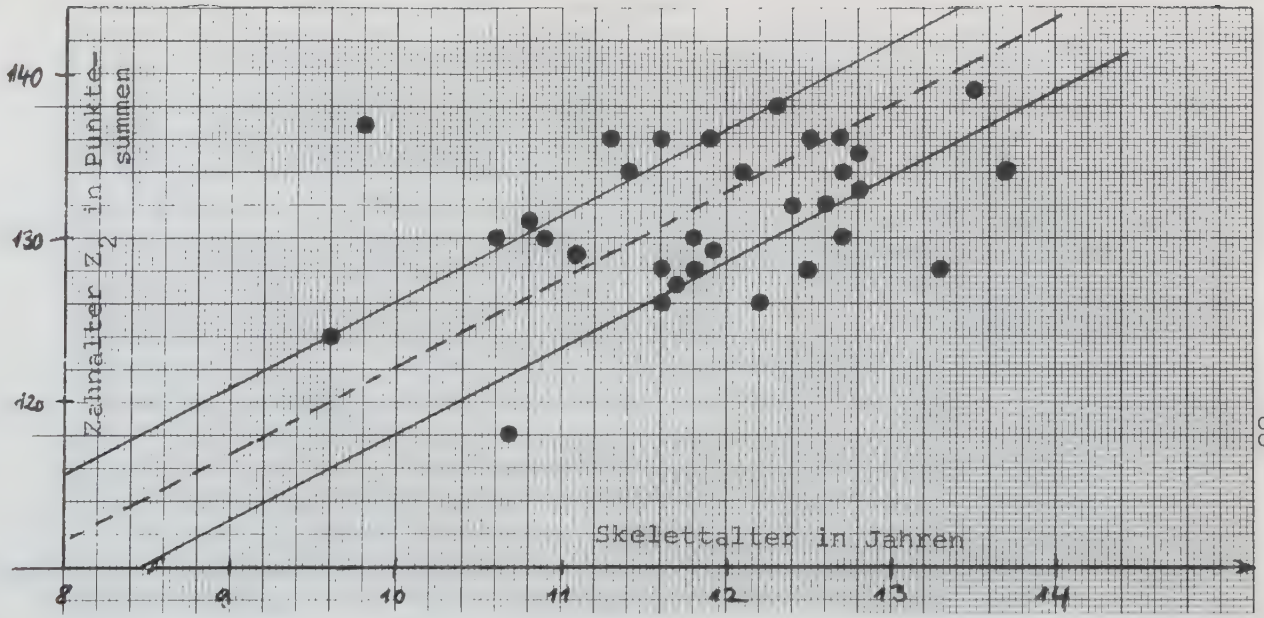


Abb. 33 - Streudiagramm G_1:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2 (Mittelwert OK + UK) und Skelettalter S

n = 32, ♀ Mädchen, 12 Jahre

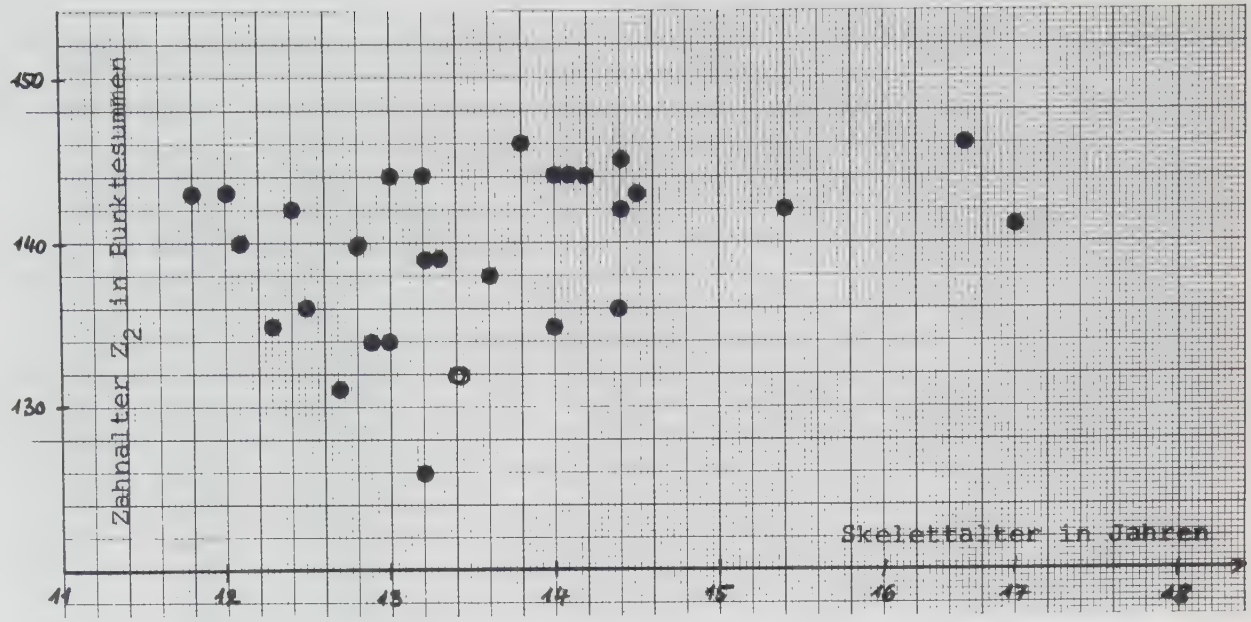


Abb. 34 - Streudiagramm G_2:

Abhängigkeit zwischen Zahnalter Z_2
(Mittelwert OK + UK) und Skelettalter S

n = 30, ♂ Knaben, 14 Jahre

B) Die Ergebnisse und ihre Auswertung

a) bei der Skelettalterbestimmung

1. nach A. BJÖRK (5)

a) Die Beobachtungstabellen I_M bzw. I_K geben an, welches Reifestadium das einzelne Kind erreicht hat.

b) Schaubild A: (Abb. 24)

Aus der statistischen Verteilung der nach den Reifestadien von A. BJÖRK (5) eingeteilten Kinder geht hervor:

Der prozentuale Anteil der Mädchen, die die Reifestadien MP_3, S bzw. MP_{3c} erreicht haben, stimmt weitgehend überein mit dem prozentualen Anteil der Knaben, die dieselben Reifestadien erreicht haben.

Daraus folgt für die Skelettentwicklung:

Die Skelettentwicklung der 12- jährigen Mädchen entspricht recht genau der Skelettentwicklung der 14- jährigen Knaben.

Mit dieser Aussage wird die Theorie von A. BJÖRK (5) bestätigt.

2. nach GREULICH / PYLE (23)

Zur Berechnung des Skelettalters wurden die Werte aus den Rechentabellen VI_M und VI_K (Spalte d) verwendet.

Das Skelettalter der Mädchen -
chronologisches Alter 12 Jahre -
liegt im Durchschnitt bei 12,0 Jahren,
wobei es zwischen 10,0 und 13,8 Jahren
streut.

Das Skelettalter der Knaben -
chronologisches Alter 14 Jahre -
liegt im Durchschnitt bei 13,63 Jahren,
wobei es zwischen 11,9 und 16,88 Jahren
streut.

Daraus folgt:

Der Mittelwert der Skelettalter der einzelnen Kinder entspricht bei der GREULICH / PYLE - Methode (23) ihrem chronologischen Alter.

Die Abweichung des Skelettalters des einzelnen Kindes vom Mittelwert ist zum Teil beträchtlich und kann bis zu 2 Jahre betragen.

Dies zeigt, daß sich extreme Früh- bzw. Spätentwickler unter den untersuchten Kindern befinden.

3. nach TANNER / WHITEHOUSE (39)

Zur Berechnung des Skelettalters wurden die Werte aus den Rechentabellen VI_M und VI_K (Spalte a und b) verwendet.

Die statistische Verteilung der untersuchten Kinder nach dem Skelettalter von TANNER / WHITEHOUSE (39) wurde in Schaubild B -(Abb. 25) veranschaulicht.

Das Skelettalter der Mädchen - chronologisches Alter 12 Jahre - liegt im Durchschnitt bei 12,78 Jahren, wobei es zwischen den Alterswerten 10,2 und 14,4 Jahren streut.

Das Skelettalter der Knaben - chronologisches Alter 14 Jahre - liegt im Durchschnitt bei 14,6 Jahren, wobei es zwischen den Alterswerten 12,6 und 18,2 Jahren streut.

Daraus folgt:

Der Mittelwert der Skelettalter der einzelnen Kinder liegt bei der TANNER / WHITEHOUSE - Methode (39) um 1 Jahr höher als das chronologische Alter.

Vergleich der Mittelwerte der nach der GP_1 - Methode (23) bzw. TW2 - Methode (39) bestimmten Skelettalter:

Bei den Mädchen liegen die Werte der mittleren TANNER / WHITEHOUSE - Skelettalter um 0,8 Jahre höher als die Werte der mittleren GREULICH / PYLE - Skelettalter.

Bei den Knaben liegen die Werte der mittleren TW2 - Skelettalter um 1 Jahr höher als die Werte der mittleren GP_1 - Skelettalter.

Daraus folgt:

Die GP_1 - Skala ist gegenüber der TW-Skala um 1 Jahr verschoben.

Für die Differenzen zwischen GP_1 und TW2 - Skelettaltern dürften zwei Faktoren verantwortlich sein:

zum einen unterscheiden sich die beiden Methoden in "Auswahl und Gewichtung" der Knochen -

ein GREULICH / PYLE - Skelettalter ist ja das arithmetische Mittel aller knochenspezifischen Alter,

wohingegen ein TW2 - Skelettalter von gewichteten Punktesummen für 20 ausgewählte Knochen der Hand und Handwurzel hergeleitet ist -

Zum anderen beruhen die beiden Skalen auf Studien an Kindern unterschiedlicher Herkunft -

die GP_1- standards sind von amerikanischen Kindern abgeleitet,
die TW2 - standards dagegen von britischen Kindern. (23)

4. nach eigener Methode (Rechenverfahren):

Zur Erlangung einer möglichst zuverlässigen Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen verwendete ich einen Mittelwert aus Methode A_{GP} und Methode A_{TW} - 1:

$$S = \frac{A_{GP} + A_{TW} - 1}{2}$$

Von dem so errechneten Wert für das Skelettalter S kann angenommen werden, daß er durchschnittlich um 0,2 Jahre und im Höchstfall um weniger als 0,5 Jahre vom "Idealwert" des Skelettalters abweicht, der sich aus einer völlig "idealen" Methode ergeben hätte.

In der Differenz von S gegenüber dem "Idealwert" ist auch der "subjektive Fehler" des Beobachters (Interobserdifferenz) enthalten, der offensichtlich infolge der Schwierigkeit bei der Abgrenzung der einzelnen Stadien untereinander kaum zu vermeiden ist.

b) bei der Zahnalterbestimmung

1. nach A. DEMIRJIAN Z_1
(ohne Berücksichtigung der 3. Molaren)

Zur Berechnung des Zahnalters wurden die Werte aus den Rechentabellen VI_M und VI_K (Spalte f) verwendet.

Das Zahnalter der Mädchen -
chronologisches Alter 12 Jahre -
liegt im Durchschnitt bei 13,27 Jahren,
wobei es zwischen 11,65 und 14,6 Jahren
streut.

Das Zahnalter der Knaben -
chronologisches Alter 14 Jahre -
liegt im Durchschnitt bei 16,6 Jahren,
wobei es zwischen 13,2 und 18 Jahren
streut.

Es kann folgendes festgestellt werden:

Das nach der Methode von A. DEMIRJIAN (13) bestimmte Zahnalter zeigt eine auffallende Abweichung vom chronologischen Alter.

Diese Tatsache dürfte darin begründet sein, daß die meisten der untersuchten Zähne - beim chronologischen Alter von 12 bzw. 14 Jahren - die 3. Molaren bleiben ja außer Betracht - bereits den letzten bzw. vorletzten Mineralisationsgrad erreicht haben, und sich damit die Merkmale der Kinder nur noch unwesentlich unterscheiden.

Ich wählte daher für meine weiteren Untersuchungen eine eigene Methode, Z_2, aus, die die 3. Molaren in die Beobachtung einbezieht und damit eine bessere Aussagekraft bezüglich der Zahnentwicklung liefert.

2. nach eigenem Verfahren Z_2

kombinierte Methode P.M. SCHOPF / A. HASUND (36, 24) (mit Berücksichtigung der 3. Molaren)

Zur Berechnung des Zahnalters wurden die Werte aus den Rechentabellen VI_M und VI_K (Spalte g, h, i) verwendet.

Durchschnitt der Punktesummen der Mädchen:

(chronologisches Alter 12 Jahre)

$OK_M = 132$

$UK_M = 130{,}7$

$\frac{OK_M + UK_M}{2} = 131{,}4$

Durchschnitt der Punktesummen der Knaben:

(chronologisches Alter 14 Jahre)

$OK_K = 139{,}6$

$UK_K = 138{,}9$

$\frac{OK_K + UK_K}{2} = 139{,}2$

HASUND (24) ordnete diesen Punktesummen über eine Kurve "Zahnalter" zu.
Auf diese Umrechnung wurde in dem von mir untersuchten Bereich verzichtet, da sie linear verläuft.

Es kann folgendes festgestellt werden:

Die Punktesummen der 14- jährigen Knaben sind deutlich höher als die der 12- jährigen Mädchen.

Die im Oberkiefer weiter fortgeschrittene Verkalkung der Zähne - Mädchen 1,3 Punkte, Knaben 0,7 Punkte - ist gering, aber dennoch auffallend.

Der Vorsprung von "8 Punkten" bei der Punktesumme der Knaben - gegenüber der Punktesumme der um "2 Jahre" jüngeren Mädchen - läßt einen Zusammenhang vermuten mit dem Steigungsmaß von "5,5 Punkten pro Jahr", das bei der Untersuchung der "Art der Abhängigkeit" gefunden wurde.

Schaubild C: (Abb. 26)

Die Zahnentwicklung der 12- jährigen Mädchen - bleibt im Gegensatz zur Skelettentwicklung - deutlich hinter der Zahnentwicklung der 14- jährigen Knaben zurück.

c) Die Ergebnisse und ihre Auswertung bei der Bestimmung der Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter

Die Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter wurde mit Hilfe zweier voneinander unabhängiger Methoden bestimmt:

I. Mit Hilfe von Streudiagrammen

Unter Zuhilfenahme der aus den Rechentabellen VI_M bzw. VI_K entnommenen Werte konnten Streudiagramme angefertigt werden.

a) für die Gruppe der Mädchen

1. Streudiagramm D_1:

(Abb. 27)

Das Skelettalter S (gemessen in Jahren) lieferte die Rechtsachse, das Zahnalter Z_1 (gemessen in Jahren) die Hochachse.
Z_1 wurde ohne Berücksichtigung der 3. Molaren gewonnen.
Jedem "Kind" wurde in dem Schaubild ein "Punkt" zugeordnet.

Mathematische Auswertung
des Streudiagramms D_1:

(Abb. 27)

Aus der Anordnung der Punkte ist kein sinnvoller Zusammenhang zu erkennen.

Daraus ergibt sich für die Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter:

Es ist keine Abhängigkeit zwischen Skelettalter und Zahnalter erkennbar.

Vermutete Ursache:

Bei der Zahnalterbestimmung nach A. DEMIRJIAN (Z_1) (ohne Berücksichtigung der 3. Molaren) liegt das Alter der Mädchen mit 12 Jahren so nahe am Ende der Altersskala, daß eine brauchbare Bestimmung nicht mehr möglich ist.

2. Streudiagramme E_1, F_1 und G_1:
(Abb. 29, 31 und 33)

Das Skelettalter S (gemessen in Jahren) lieferte die Rechtsachse, das Zahnalter Z_2 (gemessen in Punktesummen) die Hochachse.

Z_2 wurde mit Berücksichtigung der 3. Molaren gewonnen.

Bei Diagramm E_1 wurden für Z_2 (aus Rechentabelle VI) die Werte für den Oberkiefer verwendet,
bei F_1 die Werte für den Unterkiefer und
bei G_1 der Mittelwert aus Ober- und Unterkiefer.

Jedem "Kind" wurde ein "Punkt" im jeweiligen Streudiagramm zugeordnet.

Mathematische Auswertung
des Streudiagramms G_1:

(Abb. 33)

75 % aller Punkte liegen innerhalb eines "Streifens" im Streudiagramm.

Ein Streifen ist aber mathematisch auf zweierlei Art "aussagekräftig":

a) Die Gleichung der Mittelparallelen, insbesondere ihre Steigung ($\tan \alpha$), liefert eine Aussage über die "Art der Abhängigkeit".

b) Die Breite des Streifens bringt eine Aussage über die "Qualität der Abhängigkeit", insbesondere über den Fehler beim Skelettalter (Δ S) bzw. beim Zahnalter (Δ Z).

Je breiter der Streifen wird, desto geringer wird die Abhängigkeit, desto tiefer sinkt der Wert des Korrelationskoeffizienten.

Streifenbreite null (Gerade) entspricht dem Korrelationskoeffizienten 1.

zu a) Mit Hilfe folgender Abbildung (35) kann nun die Gleichung der Mittelparallelen aufgestellt werden:

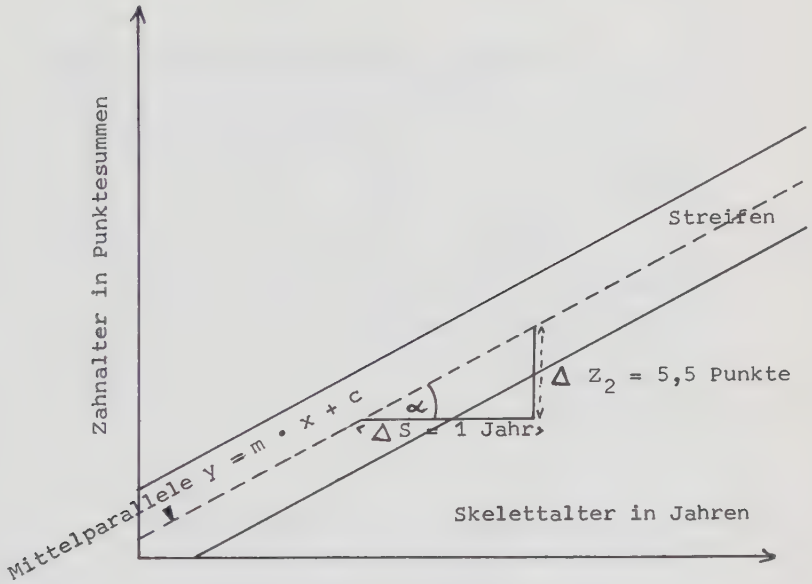


Abb. 35 Steigungsmaß einer Geraden:

(hier - der Mittelparallelen des Streifens, der in das Streudiagramm gelegt wurde)

$$\tan \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta z_2}{\Delta s}$$

Die Mittelparallele des Streifens hat nach den Regeln der elementaren Mathematik als Gerade eine Funktionsgleichung von der Form:

$$y = m \cdot x + c$$

Übertragen auf die Veränderlichen Z_2 und S lautet die Gleichung der Geraden jetzt:

$Z_2 = 5{,}5 \cdot S + 67$

Die Steigung der Mittelparallelen beträgt somit "5,5 Punkte pro Jahr".

Daraus folgt für die "Art der Abhängigkeit" Skelettalter - Zahnalter:

Wenn sich das Skelettalter um "ein Jahr" weiterentwickelt, erhöht sich die Punktesumme des Zahnalters um "5,5 Punkte".

Die Verschiebung um 67 Punkte hat keine weitere Aussagekraft.

zu b) Mit Hilfe der Breite des Streifens kann nun eine Fehlerbetrachtung in der Zuordnung
Skelettalter ⟶ Zahnalter, bzw.
Zahnalter ⟶ Skelettalter,
gemacht werden.

Dabei sind zwei verschiedene Arten von Fehlern zu unterscheiden:

1. der Beobachtungsfehler:

   für das Skelettalter wurde er mit 0,2 Jahren bereits ausführlich begründet, (S.)
   für das Zahnalter wird er von mir auf 2 Punkte geschätzt.

2. der Zuordnungsfehler:

   er ergibt sich aus der gestreuten Lage der einzelnen Punkte (Breite des Streifens)

Die beiden möglichen Fehler sollen zunächst isoliert betrachtet werden. Dazu werden zwei verschiedene Fälle konstruiert:

Fall 1)
Der Beobachtungsfehler tritt allein auf.

Der Zuordnungsfehler ist gleich null,
die Abhängigkeit exakt.

Dieser Fall tritt ein, wenn der Streifen die Breite null hat, also im Falle einer Geraden.

Mit Hilfe von Abb. 35 a und Abb. 35 b lassen sich dann folgende Aussagen machen:

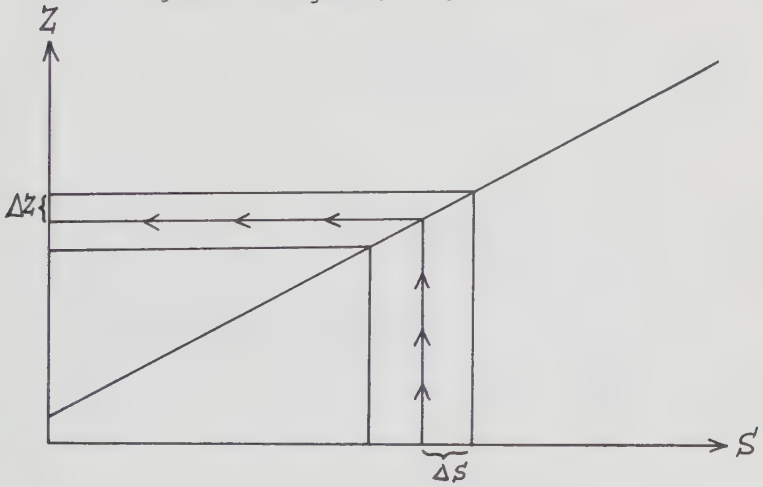


Abb. 35 a Fehlerbetrachtung
bei Zuordnungsfehler null

Aus Abb. 35 a ergibt sich:

Aus dem Fehler in der Skelettalterbestimmung ΔS
wird ein Fehler im zugeordneten Zahnalter ΔZ
$\Delta S = 0{,}2$ Jahre $\longrightarrow$ $\Delta Z = 1$ Punkt

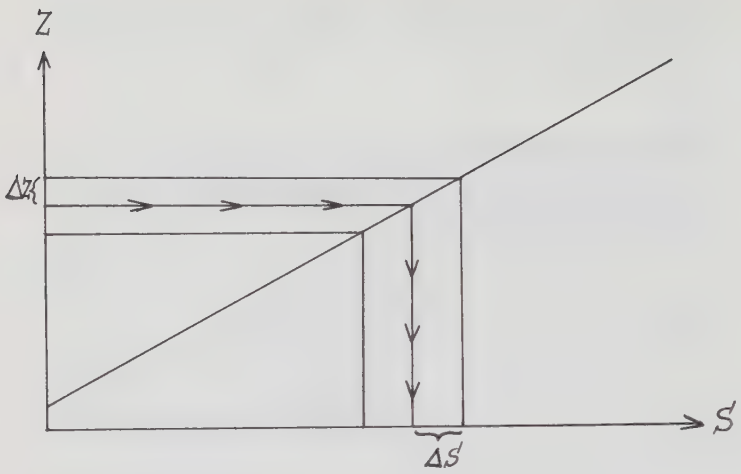


Abb. 35 b Fehlerbetrachtung
bei Zuordnungsfehler null

Aus Abb. 35 b ergibt sich:

Umgekehrt bewirkt ein Fehler in der Zahnalterbestimmung Δ Z einen Fehler im zugeordneten Skelettalter Δ S.

Δ Z = 2 Punkte $\longrightarrow$ Δ S = 0,4 Jahre

Fall 2)

Der Zuordnungsfehler tritt allein auf.

Der Beobachtungsfehler ist gleich null, die Beobachtung exakt.

Mit Hilfe von Abb. 36 a und Abb. 36 b lassen sich dann folgende Aussagen machen:

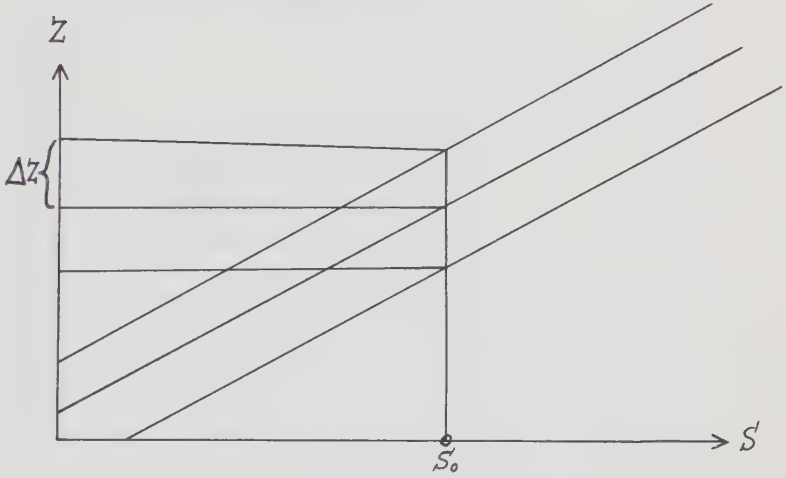


Abb. 36 a Fehlerbetrachtung bei Beobachtungsfehler null

Aus Abb. 36 a ergibt sich:

Einem Skelettalter S_o wird eine Breite von möglichen Zahnaltern zugeordnet.

$S_o \longrightarrow Z_o \pm \Delta Z$ mit $\Delta Z = 4$ Punkten

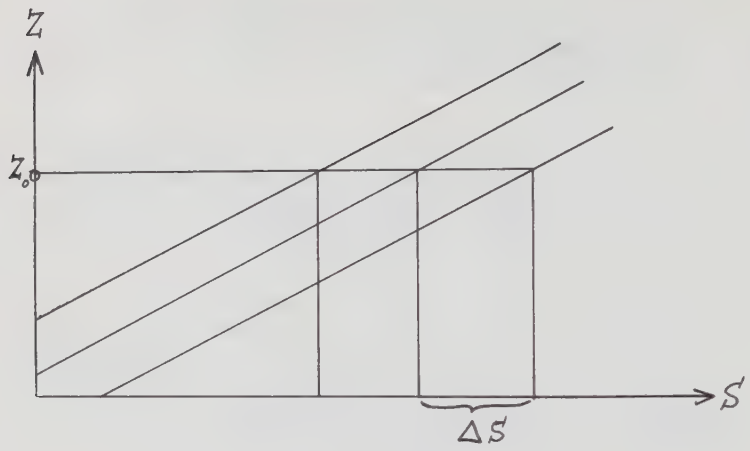


Abb. 36 b Fehlerbetrachtung
bei Beobachtungsfehler null

Aus Abb. 36 b ergibt sich:

Entsprechend wird einem Zahnalter Z_o
eine Breite von möglichen Skelettaltern zugeordnet.

$Z_o \longrightarrow S_o \pm \Delta S$ mit $\Delta S = 0{,}9$ Jahren

Im Gegensatz zu den beiden konstruierten Fällen 1) bzw. 2) muß bei der Fehlerbetrachtung des Streifens in Streudiagramm G_1 beachtet werden, daß "beide" Fehlerquellen unabhängig voneinander wirken, sich somit beide Fehler zueinander addieren.

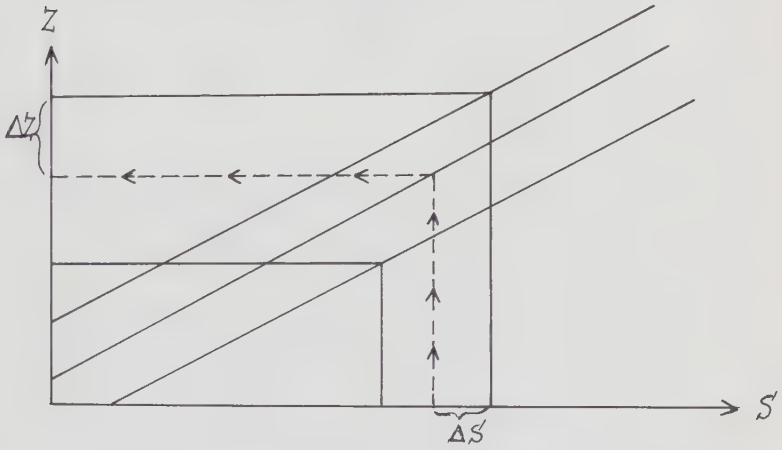


Abb. 37 a Fehlerbetrachtung bei Streifen in Streudiagramm G_1

Aus Abb. 37 a ergibt sich:

Einem bis auf Δ S = 0,2 Jahre genauen Skelettalter S wird ein Zahnalter mit einer Fehlerabweichung Z = $\pm$ 6 Punkte zugeordnet.

Δ S = 0,2 Jahre $\longrightarrow$ Δ Z = 6 Punkte

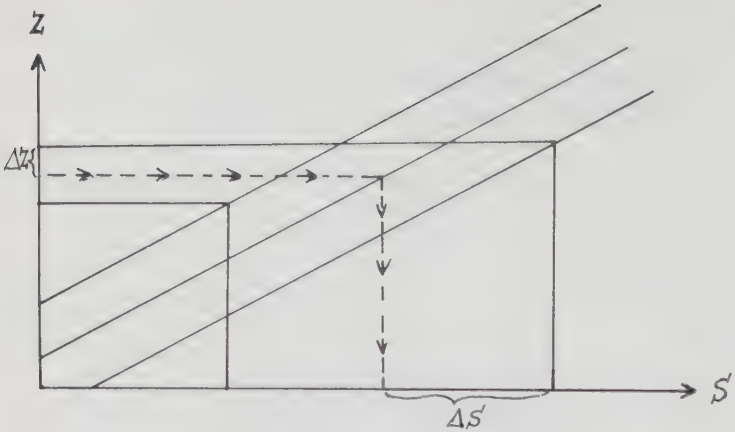


Abb. 37 b Fehlerbetrachtung bei Streifen in Streudiagramm G_1

Aus Abb. 37 b ergibt sich:

Umgekehrt: Es wird einem auf Δ Z = 2 Punkte genauen Zahnalter ein Skelettalter mit einer Fehlermöglichkeit Δ S = 1,3 Jahre zugeordnet.

Δ Z = 2 Punkte $\longrightarrow$ Δ S = 1,3 Jahre

Daraus folgt für die Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter:

Das aus dem Zahnalter bestimmbare Skelettalter ist mit einem so großen Fehler behaftet, daß eine sinnvolle Berechnung des Skelettalters aus dem Zahnalter nicht mehr möglich ist.

Diese Erkenntnis hat weitreichende Konsequenzen für die kieferorthopädische Behandlung. (siehe Ausblick)

Mathematische Auswertung
der Streudiagramme E_1 und F_1:

(Abb. 29 und 31)

Für die Streudiagramme E_1 und F_1 gilt die gleiche Abhängigkeit zwischen Skelettalter und Zahnalter wie bei Streudiagramm G_1.

b) für die Gruppe der Knaben

3. Streudiagramme D_2, E_2, F_2 und G_2:

(Abb. 28, 30, 32 und 34)

Mathematische Auswertung der Streudiagramme D_2, E_2, F_2 und G_2:

Bei sämtlichen Streudiagrammen ist es nicht möglich, eine brauchbare Anordnung der einzelnen Punkte zu erkennen.

Der Streifen fällt entweder zu breit aus und ist damit wertlos oder die Anzahl der Punkte innerhalb des Streifens hat einen zu geringen Anteil an der Gesamtpunktezahl.

Daraus folgt für die Abhängigkeit
Skelettalter - Zahnalter:

Es ist keine Abhängigkeit erkennbar.

II. Mittels, der in der medizinischen Literatur üblichen Methode zur Beschreibung der Abhängigkeit zweier Merkmale, der Bestimmung der Gleichung der Regressionsgeraden, bzw. des Korrelationskoeffizienten: (G. FUCHS) (18)

a) Für die Gruppe der Mädchen:

Bei der Abbildung S ——————→ Z

"jedem Skelettalter wird ein Zahnalter zugeordnet"

lautet die Gleichung der Regressionsgeraden:

$Z = 1{,}68\ S + 111$

Bei der Abbildung Z ——————→ S

"jedem Zahnalter wird ein Skelettalter zugeordnet"

lautet die Gleichung der Regressionsgeraden:

$S = 0{,}076\ Z + 1{,}97$

Wert des Korrelationskoeffizienten:

Der Wert des Korrelationskoeffizienten bei den Mädchen beträgt 0,356.

Er ist von der Wahl der Abbildungsrichtung unabhängig und läßt sich aus den Gleichungen der beiden Regressionsgeraden berechnen.

b) <u>für die Gruppe der Knaben:</u>

Bei der Abbildung S $\longrightarrow$ Z

"jedem Skelettalter wird ein Zahnalter zugeordnet"

lautet die Gleichung der Regressionsgeraden:

$Z = 14{,}2\ S - 53{,}77$

Bei der Abbildung Z $\longrightarrow$ S

"jedem Zahnalter wird ein Skelettalter zugeordnet"

lautet die Gleichung der Regressionsgeraden:

$S = 0{,}07\ Z + 3{,}78$

<u>Wert des Korrelationskoeffizienten:</u>

<u>Der Wert des Korrelationskoeffizienten bei den Knaben beträgt 0,30</u>

Er ist von der Wahl der Abbildungsrichtung unabhängig.

c) Interpretation der ermittelten Korrelationskoeffizienten der untersuchten 12- jährigen Mädchen, bzw. 14- jährigen Knaben:

Aus den errechneten Werten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

1. Sowohl bei der Gruppe der Mädchen, als auch bei der Gruppe der Knaben ist eine statistische Abhängigkeit zwischen Skelettalter und Zahnalter vorhanden.

2. Die Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter ist jedoch nicht besonders stark ausgeprägt.

3. Die Korrelation bei den 12- jährigen Mädchen ist deutlich größer als bei den 14- jährigen Knaben.

Aussage 3) bestätigt damit das Ergebnis, das bereits aus dem Verfahren mittels der Streudiagramme erzielt werden konnte:

Es war bei Streudiagramm G_1
(Gruppe der 12- jährigen Mädchen) noch gelungen, mit Hilfe eines Streifens eine Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter zu erkennen.

Bei Streudiagramm G_2
(Gruppe der 14- jährigen Knaben) war dies nicht mehr möglich.

V. Diskussion

A) Vergleich der von mir verwendeten Methoden zur Bestimmung der Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter bezüglich der Effizienz ihrer Aussage:

a) Die Bestimmungsmethode mittels der Streudiagramme

Diese Form der Betrachtung der Abhängigkeit zweier Zufallsgrößen mittels der Streudiagramme ist in der medizinischen Literatur nicht üblich;
es liegen daher auch keine vergleichbaren Arbeiten anderer Autoren vor.

Die Betrachtungsweise der Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter mit Hilfe der Streudiagramme wurde von mir aber bewußt gewählt, weil sie eine Formel im Sinne der Funktionsabhängigkeit zwischen Skelettalter und Zahnalter liefert, somit eine exakte Aussage über die "Art der Abhängigkeit":

$Z_2 = 5{,}5 \cdot S + 67$

Wenn sich das Skelettalter um "ein" Jahr weiterentwickelt, erhöht sich die Punktesumme um "5,5 Punkte".

Auch über die "Qualität der Abhängigkeit" konnte mit Hilfe der Fehlerbetrachtung eine Aussage gemacht werden:

$\Delta Z = 2$ Punkte $\longrightarrow \Delta S = 1{,}3$ Jahre

Es wird einem auf $\Delta Z = 2$ Punkte genauen Zahnalter ein Skelettalter mit einer Fehlermöglichkeit $\Delta S = 1{,}3$ Jahre zugeordnet.

b) Die Bestimmungsmethode
mittels der Gleichung der Regressionsgeraden,
bzw. des Korrelationskoeffizienten

Die in der medizinischen Literatur übliche Methode, den Zusammenhang zweier Merkmale, das heißt die "Qualität der Abhängigkeit" mit Hilfe der Gleichung der Regressionsgeraden, bzw. des Korrelationskoeffizienten anzugeben, wurde von mir aus zweierlei Gründen angewendet:

1. um mit Hilfe statistischer Mittel die Ergebnisse meiner Untersuchungen mittels der Streudiagramme zu erhärten

2. um einen direkten Vergleich mit den Forschungsergebnissen der Literatur herstellen zu können

Eine Aussage über die "Art der Abhängigkeit" ist bei dieser Methode nicht möglich, da die Regressionsgeraden je nach Abbildungsrichtung völlig verschieden verlaufen.

B) Vergleich der "Werte" der von mir bestimmten Korrelationskoeffizienten mit den "Werten" der Korrelationskoeffizienten ähnlich gelagerter Forschungen:

a) Die Werte der von mir bestimmten Korrelationskoeffizienten:

0,356 bei der Gruppe der untersuchten 12- jährigen Mädchen -

0,30 bei der Gruppe der untersuchten 14- jährigen Knaben -

sagen aus, daß bei beiden Gruppen eine "schwache" statistische Abhängigkeit vorhanden ist.

Sie zeigen weiterhin, daß die Korrelation bei den 12- jährigen Mädchen deutlich größer ist als bei den 14- jährigen Knaben.

Direkt vergleichbares Material zu meinen Untersuchungsergebnissen liegt in der Literatur nicht vor.

Die Werte der Korrelationskoeffizienten gehen jedoch konform mit der von J.M. TANNER (40) geäußerten Vermutung, daß eine allgemeine Tendenz die verschiedenen Reifeentwicklungen in der gleichen Richtung steuert.

b) Zur Beurteilung des "Aussagewertes" meiner Untersuchungsergebnisse sollen nun die Werte der von mir bestimmten Korrelationskoeffizienten mit den Werten von Korrelationskoeffizienten verglichen werden, die entweder aus anderen Wechselbeziehungen stammen oder aus Untersuchungen der Beziehung Skelettalter - Zahnalter bei anderen Altersgruppen.

1. Am besten ist die Beziehung zwischen dem Reifegrad des Skeletts und dem Alter nach den sekundären Geschlechtsmerkmalen zu belegen.

Diese beiden Kriterien hängen eng zusammen, wie SIMMONS und GREULICH (34) 1943 eindeutig beweisen konnten.

Nach Untersuchungen der Brush Foundation bei 187 Mädchen ergab sich zur Zeit der Menarche für das chronologische Alter eine Standardabweichung von 0,94 Jahren, für das Skelettalter nach TODD betrug sie dagegen nur 0,44.

Zwischen Menarchealter und Skelettalter im chronologischen Alter von 13 Jahren fand sich ein Korrelationskoeffizient von 0,85.

In diesem Fall kann schon von einer sicheren Abhängigkeit gesprochen werden.

Mädchen, die während der Pubertät in ihrer Skelettentwicklung den anderen voraus sind, menstruieren auch früher.

Der Zeitpunkt der Menarche steht zum Skelettalter in viel engererBeziehung als zum chronologischen Alter.

2. Veröffentlichungen über die Beziehung zwischen der Gebiß- und Skelettentwicklung innerhalb einer bestimmten gleichaltrigen Gruppe sind erstaunlich selten.

P. CATTELL (10) 1928 berechnete Korrelationen zwischen dem Zahnalter (beurteilt nach der Gesamtzahl der durchgebrochenen Zähne) und einem heute ungebräuchlichen Maß für die Verknöcherungsentwicklung an der Hand und am Handgelenk und fand folgende Korrelationskoeffizienten:

Alter	Knaben	Mädchen
6	0,45	0,16
8,5	0,31	0,38
10,5	0,24	0,14

Die Werte der von P. CATTELL (10) ermittelten Korrelationskoeffzienten für die Beziehung Skelettalter - Zahnalter liegen in ähnlichen Größenordnungen wie die Werte der von mir bestimmten Korrelationskoeffizienten.

Ein direkter Vergleich ist jedoch wegen des verschiedenen chronologischen Alters der von P. CATTELL (10), bzw. mir, untersuchten Kinder nicht möglich.

3. In einer neueren Untersuchung von 120 Kindern beider Geschlechter im Alter zwischen 9 und 16 Jahren fanden A. DEMISCH / P. WARTMANN (14) 1956 nach rechnerischer Ausschaltung der Altersunterschiede zwischen dem Skelettalter (nach GREULICH / PYLE) und dem Verkalkungsgrad des dritten unteren Molaren einen partiellen Korrelationskoeffizienten von 0,45.

Bei einer nicht so eingehenden quantitativen Beurteilung konnten SUTOW, TERASAKI und OHWADA 1954 für die Altersspanne zwischen 6 und 14 Jahren eine ähnliche Beziehung zwischen dem Skelettalter und der Zahl der schon durchgebrochenen Zähne zeigen.

Sowohl DEMISCH / WARTMANN (14) als auch SUTOW / TERASAKI untersuchten Kinder verschiedenen chronologischen Alters. Sie mußten daher zur Berechnung des Korrelationskoeffizienten die Abhängigkeit vom chronologischen Alter durch mathematische Rechentechniken ausschalten und konnten somit nur partielle Korrelationskoeffizienten bestimmen.

Partielle Korrelationskoeffizienten sind jedoch mit den von mir errechneten Werten für die Korrelationskoeffizienten nur bedingt vergleichbar.

4. Untersuchungen der Beziehung Skelettalter - Zahnalter neueren Datums wie die von A. FLEISCHER-PETERS und Mitarbeitern (16, 17) an der Universität Erlangen an 52 Spaltkindern, bei denen zum gleichen Zeitpunkt Handröntgenaufnahmen und Panoramaaufnahmen vorlagen, können zum direkten Vergleich nicht herangezogen werden, da sie an Kindern mit Mißbildungen durchgeführt wurden.

VI. Zusammenfassung

Über eine Zeitspanne von 2 Jahren wurde in einer kieferorthopädischen Praxis eine Gruppe von 32 Mädchen bzw. 30 Knaben an ihrem 12. bzw. 14. Geburtstag (Toleranz ± 8 Tage) geröntgt.

Der Zeitpunkt des "maximalen puberalen Wachstumsschubs" wurde gewählt, um eine möglichst breite Streuung und damit Aussagekraft zu erhalten.

Von jedem Kind wurde sowohl eine Übersichtsröntgenaufnahme des Gesichtsschädels gemacht, als auch eine Handröntgenaufnahme erstellt.

An Hand der vorliegenden Handröntgenaufnahmen wurde das "Skelettalter" bestimmt. Dies geschah durch visuellen Vergleich mit den Röntgenstandards von W.W. GREULICH / S.I. PYLE (23), aber auch nach der fundierteren mathematischen Methode von J.M. TANNER / R.H. WHITEHOUSE (39)

Aus den Mittelwerten der beiden Methoden konnte dann jedem Kind ein "Skelettalter S" nach der Formel

$$S = \frac{A_{GP} + A_{TW} - 1}{2}$$ zugeordnet werden.

Die Notwendigkeit der Mittelwertbildung ergab sich aus den Differenzen zwischen GP_1 - TW - Skelettaltern.

Zur Bestimmung des "Zahnalters" wurden zwei verschiedene Methoden verwendet:

Die Methode nach A. DEMIRJIAN (13) (Z_1) - bei der beim gleichen Verkalkungsgrad zwischen verschiedenen Zähnen in der Punktwertung differenziert wird - ermöglicht im allgemeinen eine sehr genaue Bestimmung des Zahnalters.

Da diese Methode aber die 3. Molaren nicht berücksichtigt, ist ihre Aussagekraft für die von mir untersuchten Kinder im Alter von 12 bzw. 14 Jahren eingeschränkt.

Das kombinierte Verfahren nach P. SCHOPF / A. HASUND (Z_2) (37, 24) gewichtet zwar alle Zähne gleich, gleicht aber diesen Nachteil gegenüber der Methode von A. DEMIRJIAN (13) dadurch aus, daß die 3. Molaren in die Beobachtung einbezogen werden können.

Die Hauptaufgabe der vorliegenden Arbeit -

eine "Abhängigkeit zwischen Zahnalter und Skelettalter" zu finden -

und gleichzeitig den "Grad dieser Abhängigkeit" festzustellen, wurde mit Hilfe zweier voneinander unabhängiger Methoden gelöst:

a) Mittels Streudiagrammen

konnte eine Beziehung zwischen dem Skelettalter S und dem Zahnalter Z_2 hergestellt werden.

b) Mit Hilfe des Korrelationskoeffizienten

konnte weiterhin der "Grad" der Abhängigkeit bestimmt werden.

Auf Grund meiner Untersuchungen können nun folgende Aussagen gemacht werden:

a) zum Skelettalter

1. Der Mittelwert der Skelettalter der einzelnen Kinder entspricht nach der GREULICH / PYLE - Methode (23) ihrem chronologischen Alter.

2. Der Mittelwert der Skelettalter der einzelnen Kinder liegt bei der TANNER / WHITEHOUSE - Methode (39) dagegen um 1 Jahr höher als das chronologische Alter.

   Daraus folgt:
   Die GP_1 - Skala ist gegenüber der TW-Skala um 1 Jahr verschoben.

3. Die Abweichung des Skelettalters des einzelnen Kindes vom Mittelwert ist zum Teil beträchtlich und kann bis zu 2 Jahre betragen.

   Dies zeigt, daß sich extreme Früh- bzw. Spätentwickler unter den untersuchten Kindern befinden.

4. Die Skelettentwicklung der 12- jährigen Mädchen entspricht recht genau der Skelettentwicklung der 14- jährigen Knaben. (Schaubild A - Abb. 24)

   Mit dieser Aussage wird die Theorie von A. BJÖRK (5) erneut bestätigt.

b) zum Zahnalter

5. Die Zahnentwicklung der 12- jährigen Mädchen bleibt - im Gegensatz zur Skelettentwicklung - deutlich hinter der Zahnentwicklung der 14- jährigen Knaben zurück.

(Schaubild C - Abb. 26)

Das legt die Vermutung nahe, daß die Hormone, die die Skelettreife der Mädchen beschleunigen, an der Zahnreife nicht so stark beteiligt sind.

Der Vorsprung von "8 Punkten" bei der Punktesumme der Knaben gegenüber der Punktesumme der um "2 Jahre" jüngeren Mädchen, läßt einen Zusammenhang vermuten mit dem Steigungsmaß von "5,5 Punkten pro Jahr", das bei der Untersuchung der "Art der Abhängigkeit" gefunden wurde.

6. Bei den 12- jährigen, bzw. 14- jährigen Kindern ist eine bessere Aussagekraft bezüglich der Zahnentwicklung möglich, wenn zur Berechnung des Zahnalters die 3. Molaren mit zur Beobachtung herangezogen werden.

c) zur Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter

7. Der Wert des Korrelationskoeffizienten bei meinen untersuchten 12- jährigen Mädchen beträgt 0,356.

8. Der Wert des Korrelationskoeffizienten bei meinen untersuchten 14- jährigen Knaben beträgt 0,30.

Daraus folgt:

9. Sowohl bei der Gruppe der Mädchen, als auch bei der Gruppe der Knaben ist eine statistische Abhängigkeit zwischen Skelettalter und Zahnalter vorhanden.

10. Die Abhängigkeit Skelettalter - Zahnalter ist jedoch nicht besonders stark ausgeprägt.

11. Die Korrelation bei den 12- jährigen Mädchen ist deutlich größer als bei den 14- jährigen Knaben.

12. Die Fehlerbetrachtung ergibt:

$\Delta Z = 2$ Punkte $\longrightarrow \Delta S = 1{,}3$ Jahre

Es wird einem auf $\Delta Z = 2$ Punkte genauen Zahnalter ein Skelettalter mit einer Fehlermöglichkeit $\Delta S = 1{,}3$ Jahre zugeordnet.

Daraus folgt:

13. Das aus dem Zahnalter bestimmbare Skelettalter ist mit einem so großen Fehler behaftet, daß eine sinnvolle Berechnung des Skelettalters aus dem Zahnalter nicht mehr möglich ist.

14. Der für einen Großteil der kieferorthopädischen Behandlungsfälle außerordentlich wichtige "Zeitpunkt des maximalen puberalen Wachstumsschubs" ist somit nur aus einer direkten Skelettalterbestimmung sicher feststellbar.

15. In der kieferorthopädischen Diagnostik muß neben das Röntgenbild der Zähne die "Handröntgenaufnahme" treten.

16. Die "Art der Abhängigkeit" läßt sich mit folgender Formel angeben:

$Z_2 = 5{,}5 \cdot S + 67$

Wenn sich das Skelettalter um "ein Jahr" weiterentwickelt, erhöht sich die Punktesumme des Zahnalters um"5,5 Punkte".

Ausblick

Die aus der Fehlerbetrachtung:

$\Delta Z = 2$ Punkte $\longrightarrow \Delta S = 1{,}3$ Jahre gewonnene Erkenntnis,

daß das aus dem Zahnalter bestimmbare Skelettalter mit einem so großen Fehler behaftet ist, daß eine sinnvolle Berechnung des Skelettalters aus dem Zahnalter nicht mehr möglich ist -

hat weitreichende Konsequenzen für die kieferorthopädische Behandlung:

Bei der Planung kieferorthopädischer Maßnahmen ist es außerordentlich wichtig zu wissen, ob das "maximale puberale Wachstum"des Patienten

gerade bevorsteht,
gerade erreicht ist,
oder schon vorüber ist,

da es sinnvoll ist, große Zahnbewegungen in den Zeitraum der individuellen größten Körperwachstumsgeschwindigkeit hineinzuverlegen.

Die Erfassung des "maximalen puberalen Wachstumsschubs" ist aber in Kenntnis des obigen Zusammenhangs nur über eine direkte Bestimmung des Skelettalters möglich.

Daraus folgt zwingend, daß in der kieferorthopädischen Diagnostik neben das Röntgenbild der Zähne die "Handröntgenaufnahme" treten muß.

Die Werte der Korrelationskoeffizienten -

0,356 bei der Gruppe der untersuchten 12- jährigen Mädchen,
0,30 bei der Gruppe der untersuchten 14- jährigen Knaben -

ermöglichen nun auch die Beantwortung der eingangs gestellten Fragen:

Definieren alle diese Skalen die "gleiche Art" einer physiologischen Reife?

Hängt zum Beispiel die Frühentwicklung des bleibenden Gebisses von anderen Faktoren ab als die relativ frühe Verknöcherung des Skeletts?

Anders ausgedrückt: Entsprechen die Entwicklungsstadien der Zahnreife denen der Skelettreife?

Offensichtlich wird während des ganzen Wachstums ein allgemeiner Faktor der körperlichen Reifung wirksam, der die Gesamtentwicklung so steuert, daß ein Kind dazu tendiert, seine Entwicklung gegenüber den anderen- entweder insgesamt mit einem Vorsprung- oder verzögert zu durchlaufen.

Das gilt für den jeweils erreichten Anteil der endgültigen Körperlänge, für die Verknöcherung des Skeletts, für den zweiten Zahnwechsel, ganz sicher für die physiologischen Funktionen, für die Leistungen in Intelligenz-Tests und vielleicht auch für psychologische Reaktionen.

Diese gleichsinnige Tendenz ist allerdings nicht sehr stark.
Sie läßt einzelne Gebiete relativ unbeeinflußt, in denen die Reifungsfortschritte begrenzt bleiben, die sich also unabhängig und anders entwickeln.

Solche Sonderverhältnisse finden sich z.B. bei der Reifung der Zähne und der Knochenkerne.

Die Korrelation zwischen den Entwicklungsstufen des Gebisses und des Skeletts ist deshalb zwar positiv, aber dennoch beträchtlich geringer als z.B. zwischen der Skelettreife und dem Reifegrad der Fortpflanzungsorgane.

VII. Literaturverzeichnis

1. BOAS, F. — The growth of children. Science 19, 256-257; 19, 281-182; 20, 351-352 (1892)

2. BOAS, F. — The growth of children. Science, NS 5, 570-573 (1897)

3. BOAS, F. — Studies in growth. Hum. Biol. 4, 307-350 (1932)

   Studies in growth. II. Hum. Biol. 5, 429-444 (1933)

   Studies in growth. III. Hum. Biol. 7, 303-318 (1935)

4. BROWN, T. BARRET, M.J. GRAVE, K.C. — Facial growth and skeletal maturation at adolescence. Tandlaegebladet, 1211-1222 (1971), 75

5. BJÖRK, A. HELM, S. — Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. Angle orthodontist, 134-143 (1967), 37

6. BJÖRK, A. — Discussion of the significance of growth changes in facial pattern and their relationship to changes in occlusion. Dental practioner and Dental record, 197-208 (1951) a, 71

7. BJÖRK, A. Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation.
Transactions of the European orthodontic society, 61-74 (1972)

8. BUTENANDT, O. Zur Diagnostik des Proportionsalters.
In: "der Kinderarzt 5", 500 (1974)

9. CATTELL, P. Dentition as a measure of maturity.
Harvard Monogr. Edue. No 9
Cambridge: (1928)

10. CATTELL, P. Preliminary report on the measurement of ossification of the hand and wrist.
Hum. Biol. 6, 454-471 (1934)

11. CRAMPTON, C.W. Physiological age, a fundamental principle.
Child Developm. 15, 1-52
Amer. phy. Rev. 13, nos 3-6 (1944)

12. DAUSCH-NEUMANN, D. Mündliche Mitteilungen

13. DEMIRJIAN, A.
GOLDSTEIN, H.
TANNER, J.M. A new system of dental age assessment.
Human Biology, 211-227 (1973)

14. DEMISCH, A.
WARTMANN, P. Calcification of the mandibular third molar and its relation to skeletal and chronological age in children.
Child Developm. 27, 459-473 (1956)

15. FLEISCHER-PETERS, A.
BAYKAN, C.
PRESTERLE, H.
Untersuchungen zur Dauer der Reifestadien der Hand.
Fortschritte der Kieferorthopädie, 77-86 (1978)

16. FLEISCHER-PETERS, A.
Handskelettanalyse und ihre klinische Bedeutung.
Fortschritte der Kieferorthopädie, 375-385 (1976) 37

17. FLEISCHER-PETERS, A.
Ursächliche Zusammenhänge bei der dentitio tarda.
Fortschritte der Kieferorthopädie, 27-37 (1970) 31

18. FUCHS, G.
Mathematik für Mediziner und Biologen.
Springer Verlag Berlin Heidelberg New York (1969)

19. GRAVE, K.C.
Carpal radiographs in orthodontic treatment.
American journal of orthodontics, 27-45 (1979)

20 GRAVE, K.C.
BROWN
Skeletal ossification and adolescent groth spurt.
American journal of orthodontics, 611-619 (1976) 69

21 GRAVE, K.C.
FRACDS, M.D.S.
Physiological indicators in orthodontic diagnosis and treatment planning.
Australian orthodontic journal, 114-122 (1978) 5

22. GREULICH, W.W. — The rationale of assessing the developmental status of children from roentgenograms of the hand and wrist. Child development, 33-34 (1950) 21

23. GREULICH, W.W. PYLE, S.I. — Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. 2 nd ed. Stanford (Calif.): Stanford University Press (1970)

24. GAT, HASUND, A. — Diagnoseblatt von Hasund (1972); Dausch-Neumann, D. mündliche Mitteilung

25. LINCOLN, R. — Panoramic dental radiography Springfield Illinois USA (1976)

26. LENZ, W. — Wachstum und körperliche Entwicklung. Handbuch Kinderheilkunde Bd. 1/1 Springer Berlin 1971

27. MOOREES, C.F.A. — The dentition of the growing child. Cambridge (Mann.): Harvard University Press 1959

28. MOOREES, C.F.A. FANNING, E. HUNT, E. — Age variation of formation stages for ten permanent teeth. Journal of dental research, 1490-1502 (1863) 42

29. MOOREES, C.F.A.
FANNING, E.
GRON, A.
LEBRET, L.

The timing of orthodontic treatment in relation to tooth formation.

Transaction of the European orthodontic society,

Vol. 38, (1962), S. 87

30. PYLE, I.
SONTAG, L.W.

Variability in onset of ossification in epiphyses and short bones of the extremities.

The American journal of roentgenology, radium therapy and nuclear medicine,
795-798 (1943) 49

31. RANKE, H.v.

Ossifikation der Hand unter Röntgenbeleuchtung

Dtsch. Ges. Kinderheilkunde
Düsseldorf 1898

32. ROCHE, A.F.
DAVILA, M.D.,
EYMAN, S.L.

A comparison between Greulich/ Pyle and Tanner/Whitehouse assessments of skeletal maturity.

Radiology 98: 273-280 (1971)

33. RUHLAND, A.

Kieferorthopädische Diagnostik.

Carl Hanser Verlag,
München Wien (1977)

34. SIMMONS, K.,
GREULICH, W.W.

Menarcheal age and the height, weight and skeletal age of girls age.

7 to 17 years. J. Pediat. 22,
518-548 (1943)

35. SCHIENBEIN, H. Einführung in die Kieferorthopädie.
Urban & Schwarzenberg,
München - Wien - Baltimore (1979)

36. SCHOPF, P.M. Wurzelmineralisation und Zahndurchbruch im Wechselgebiß.
Fortschritt der Kieferorthopädie, 39-56 (1970) 31

37. SCHOPF, P.M. Herstellung und Auswertung von Handaufnahmen.
Fortschritte der Kieferorthopädie, 300-315 (1978)

38. TANNER, J. Growth at adolescence.
2 nd ed., Oxford : Blackwell (1962)

39. TANNER, J.M.
WHITEHOUSE, R.H.
MARSHALL, W.A.
HEALY, M.J.R.
GOLDSTEIN, H. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height; (TW2 Method).
London: Academic Press (1975)

40. TANNER, J.M. The measurement of maturity.
Transactions of the European orthodontic society (1975)

VIII. Bilderatlas

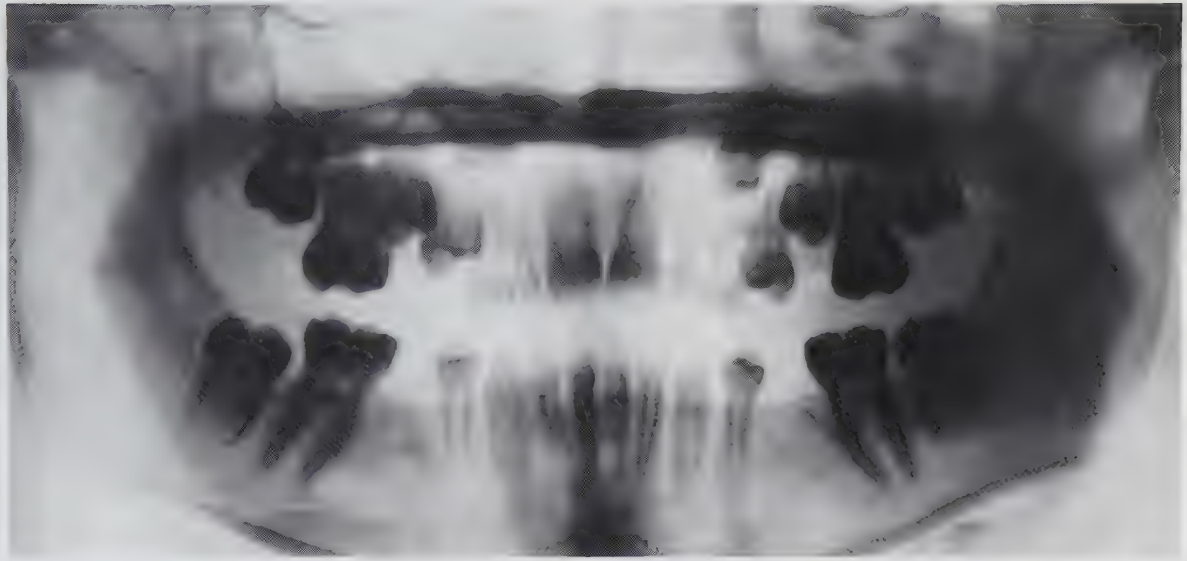
Zusammenstellung der Handröntgenaufnahmen bzw. Übersichtsröntgenaufnahmen des Gesichtsschädels der von mir untersuchten 32 Mädchen und 30 Knaben:

Bei dem jeweiligen Kind wird der Röntgenaufnahme der Hand die Übersichtsröntgenaufnahme des Gesichtsschädels gegenübergestellt unter gleichzeitiger Angabe des Skelettalters bzw. Zahnalters.

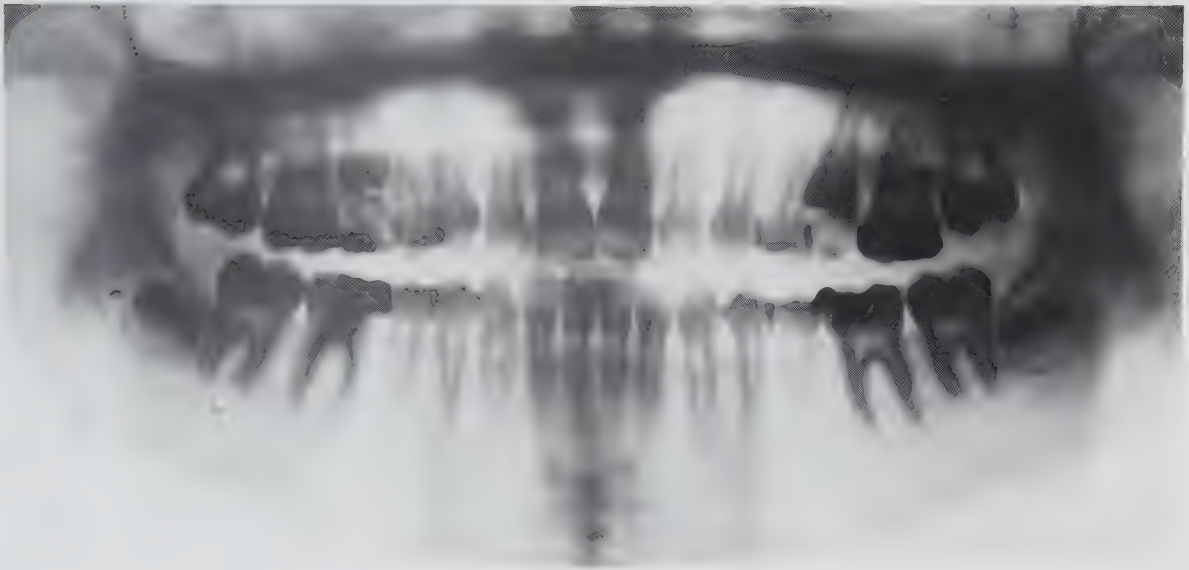
Die Werte für das Skelettalter sind der Rechentabelle VI (Spalte e) entnommen, die Werte für das Zahnalter der Rechentabelle VI.(Spalte f und i)

(1) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 10,7 Jahre Zahnalter: Z_1 = 11,3 Jahre

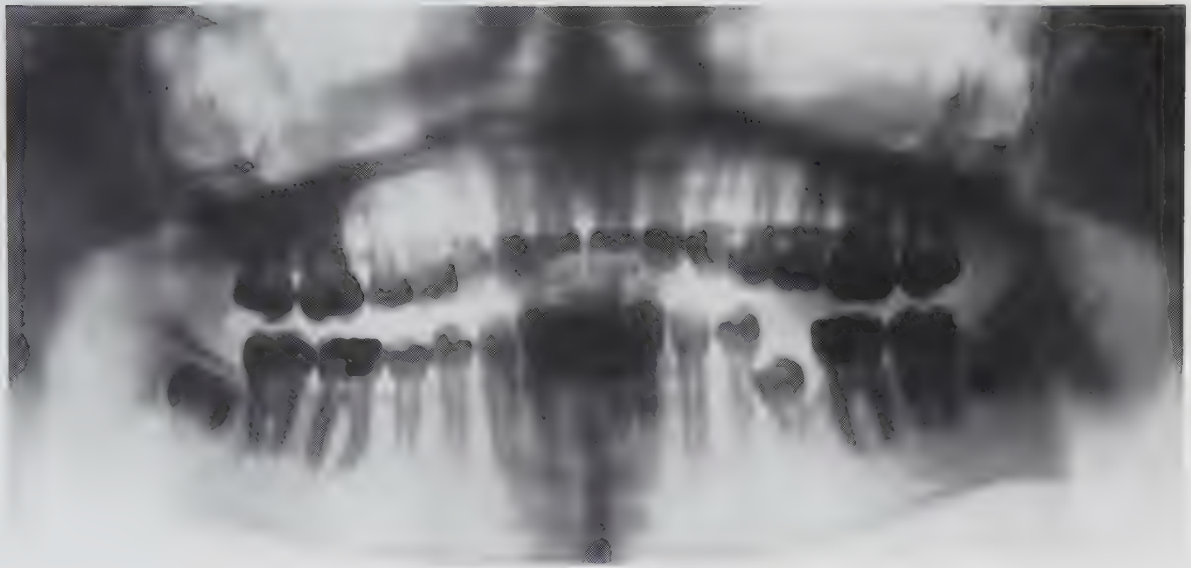
Z_2 = 118 Punkte



(2) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 10,6 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,7 Jahre
Z_2 = 130 Punkte

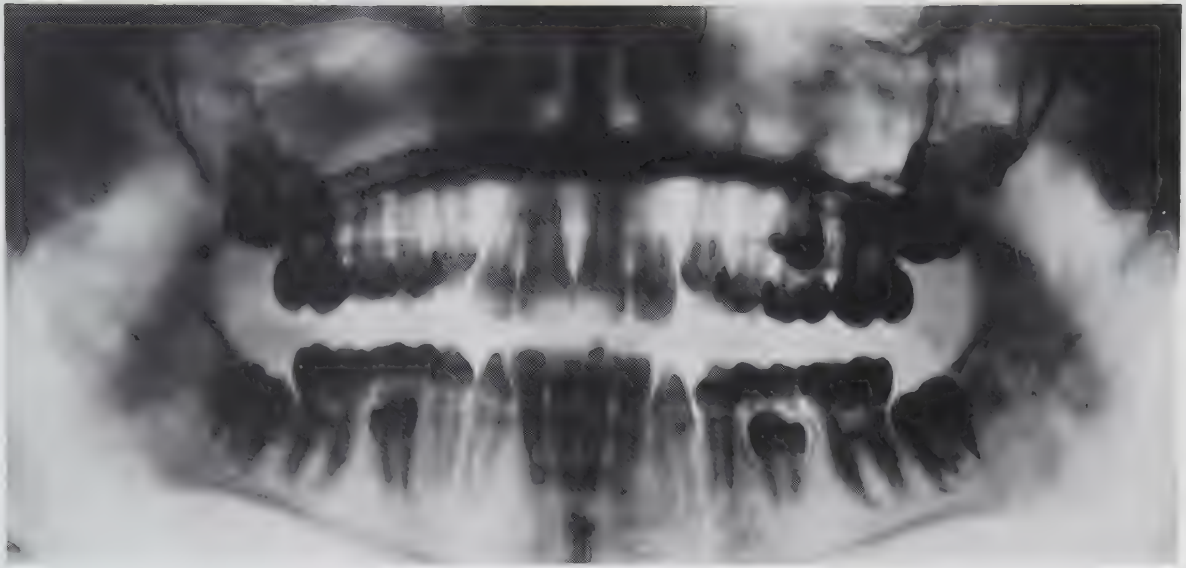


(3) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 9,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,0 Jahre
Z_2 = 137 Punkte

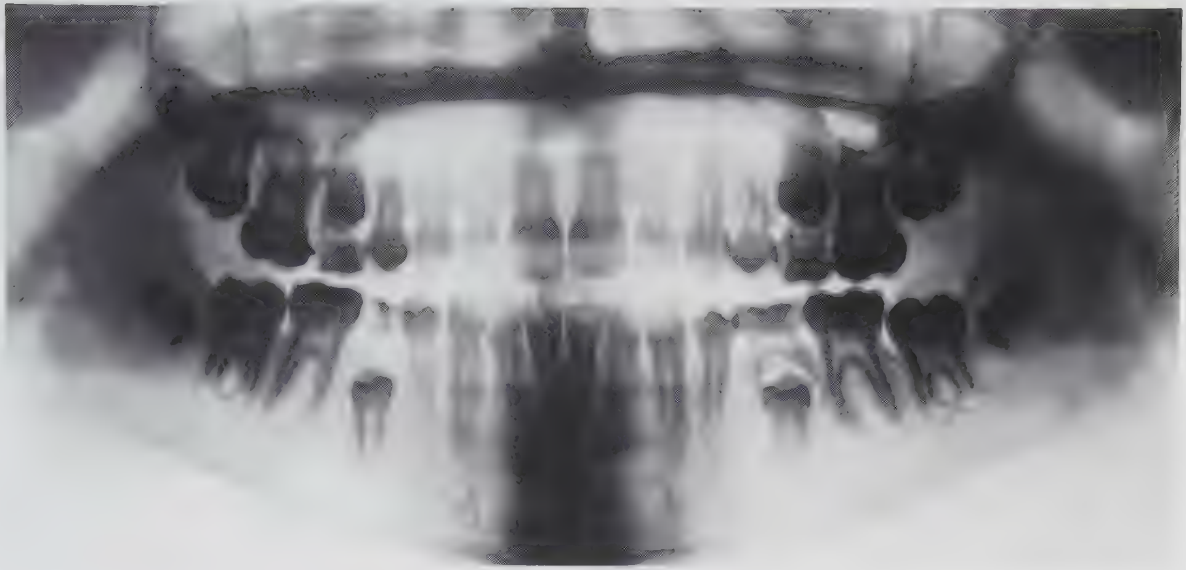


(4) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 9,6 Jahre Zahnalter: Z_1 = 11,8 Jahre

Z_2 = 124 Punkte

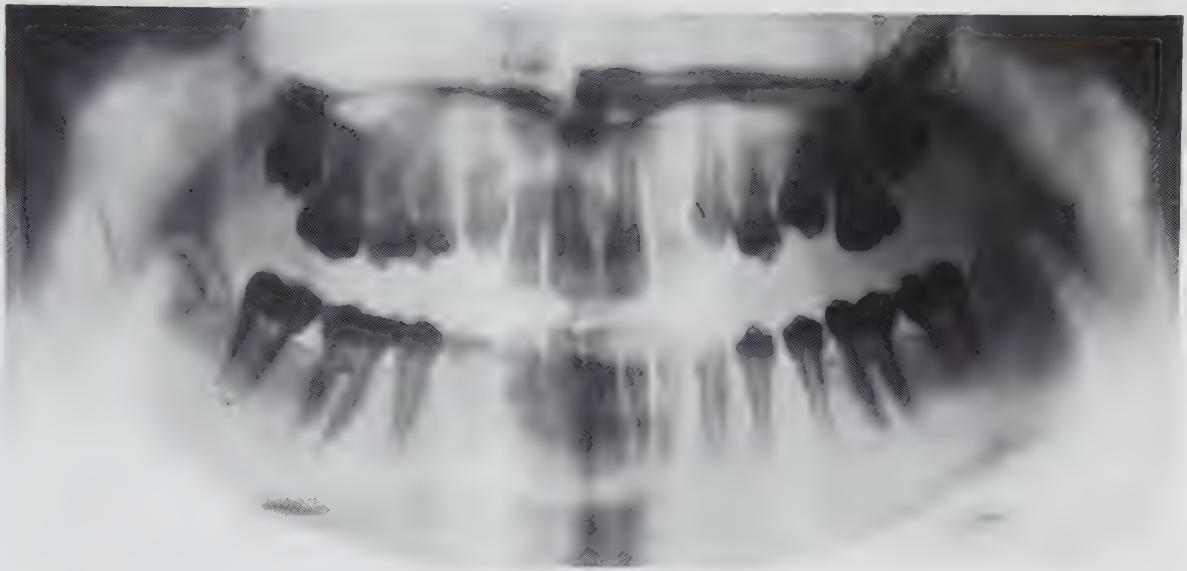


(5) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: 2 A 11,6 Jahre Zahnalter: Z_1 = 12,8 Jahre
Z_2 = 128 Punkte

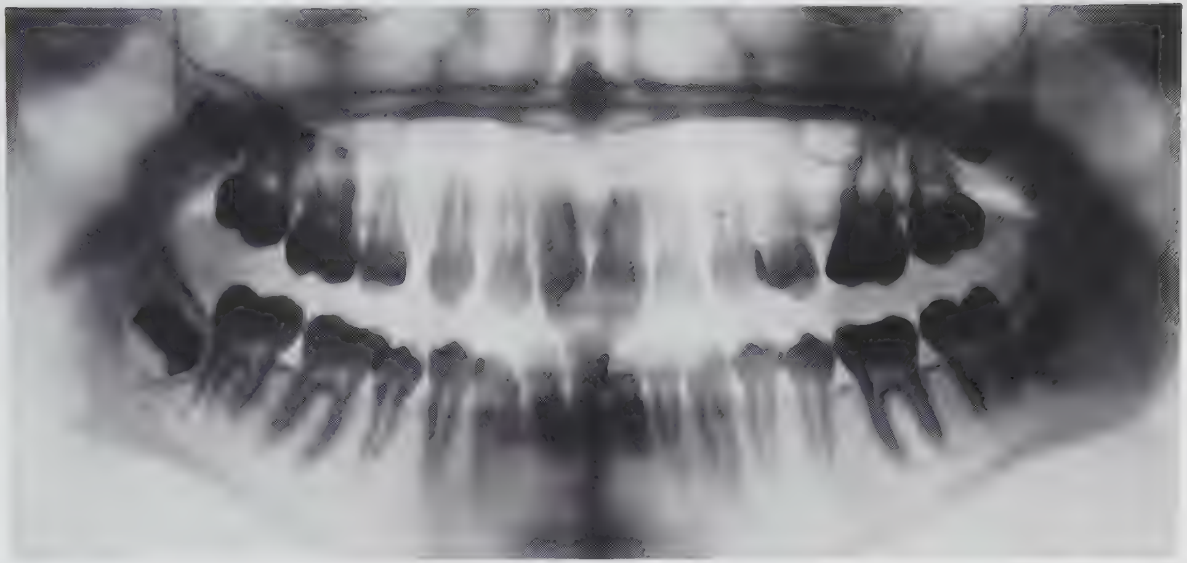


(6) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 13,3 Jahre Zahnalter: Z_1 = 12,8 Jahre

Z_2 = 128 Punkte



(7) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 134 Punkte

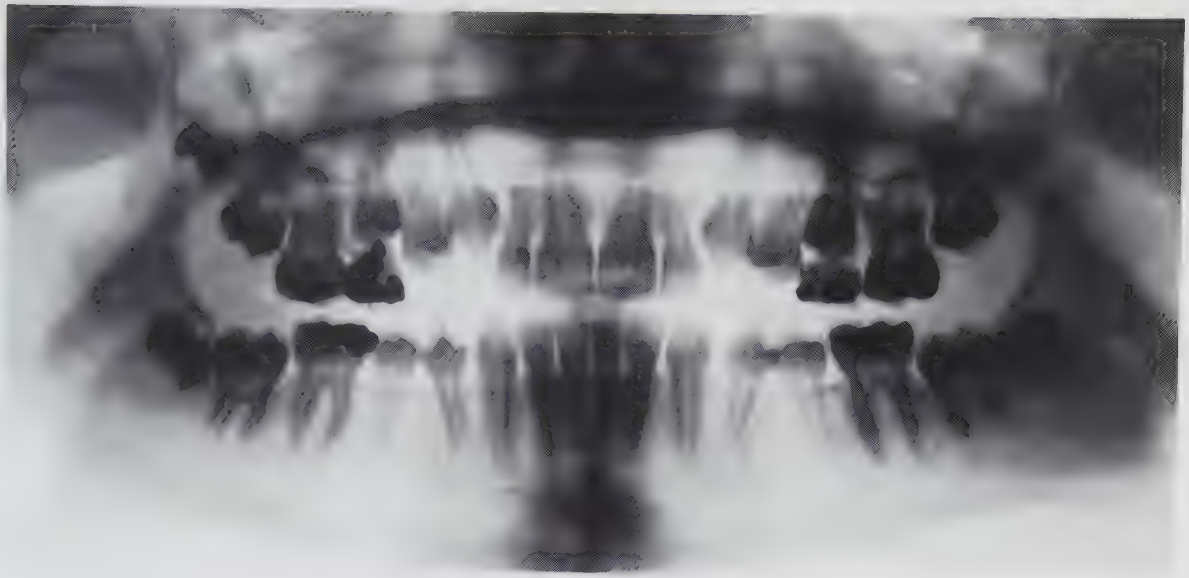


+ [illegible], 12 Jahre

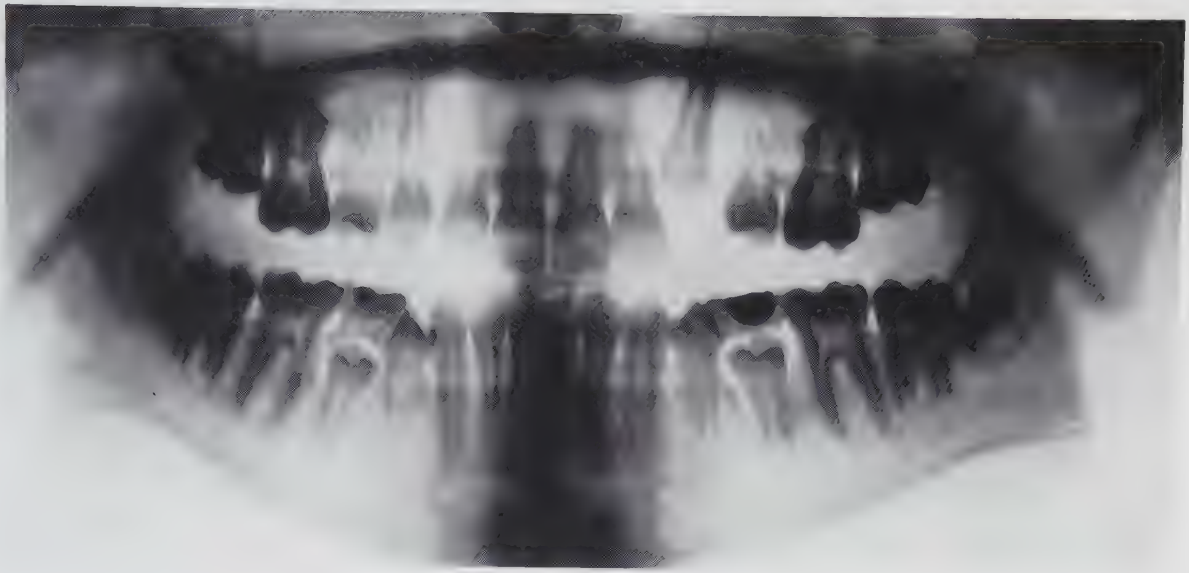
Skelettalter: S = 11,8 Jahre

Zahnalter: Z_1 = 12,8 Jahre

Z_2 = 136 Punkte

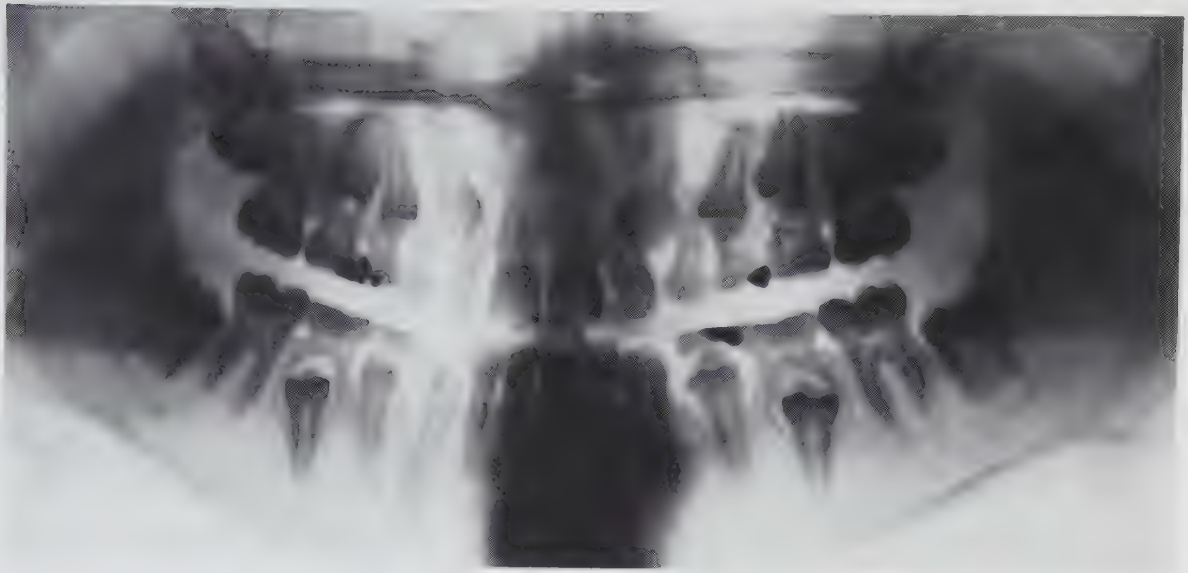


(9) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,7 Jahre Zahnalter Z_1 = 12,8 Jahre
Z_2 = 127 Punkte

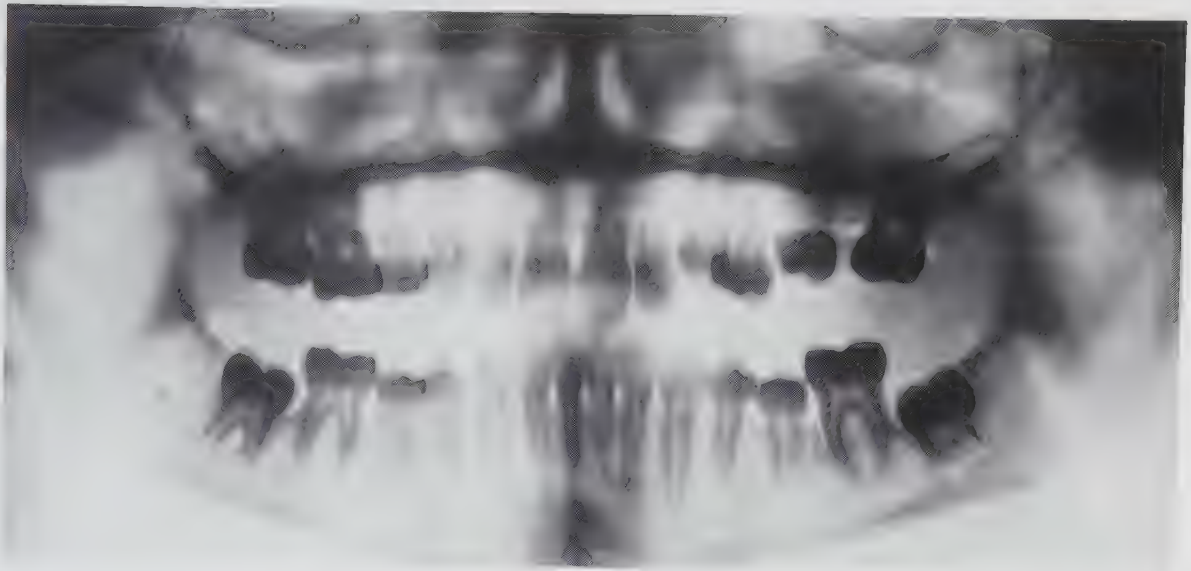


(10) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 12,5 Jahre

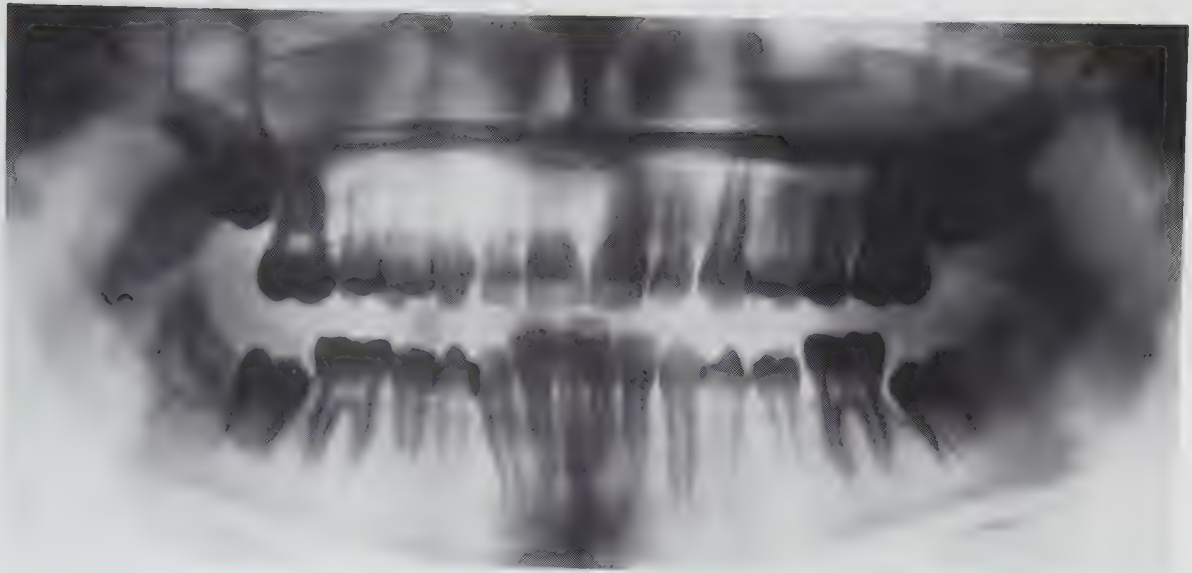
Z_2 = 126 Punkte



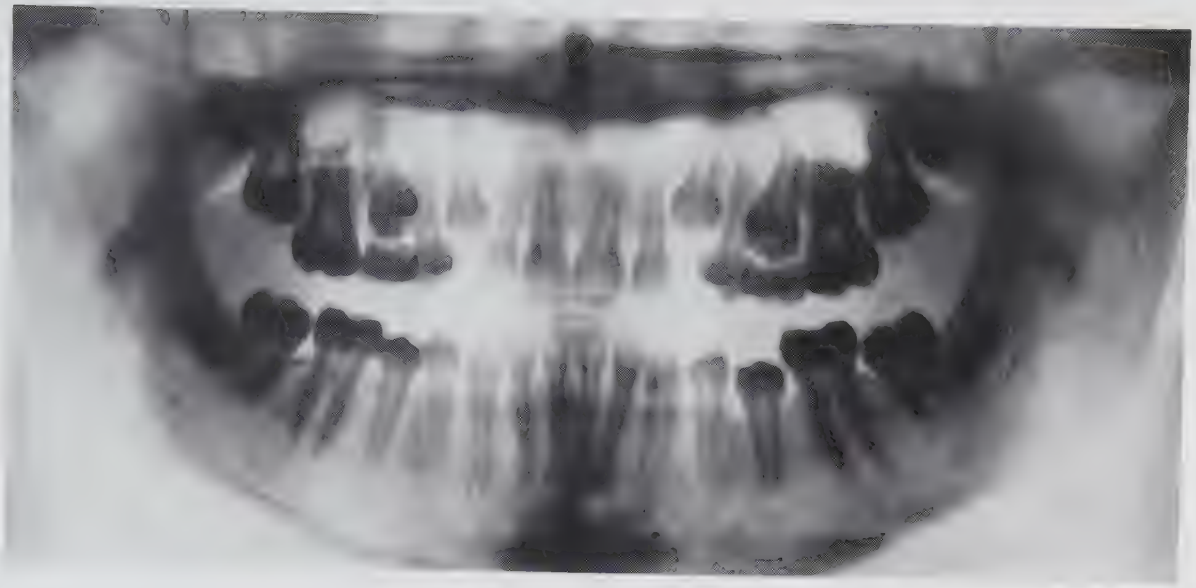
(11) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,9 Jahre Zahnalter: Z_1 = 12,5 Jahre
Z_2 = 129 Punkte



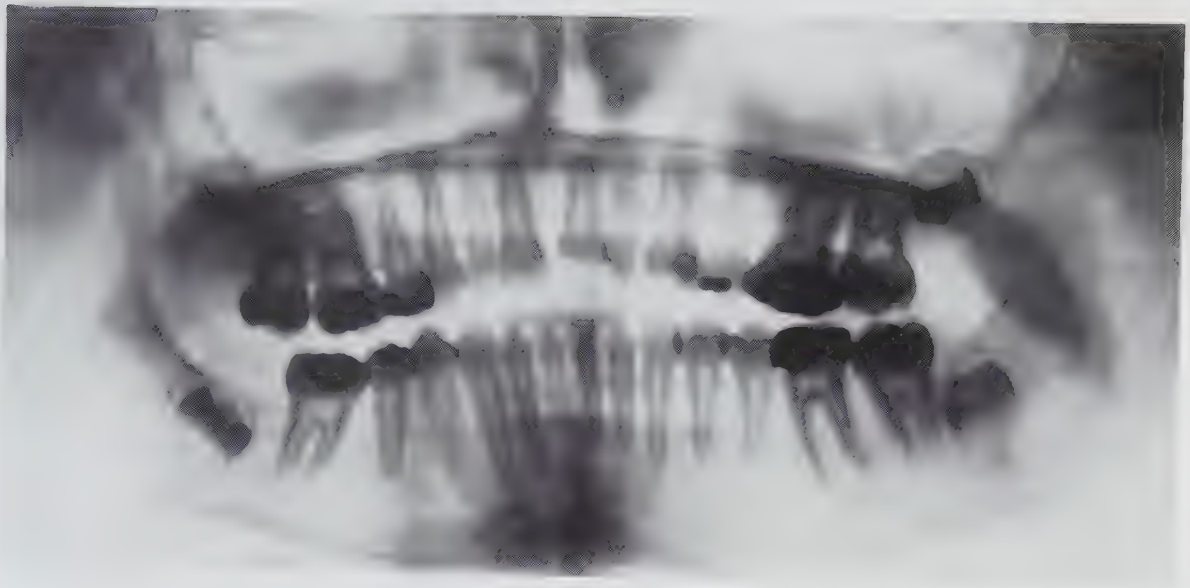
(12) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 11,6 Jahre
Z_2 = 128 Punkte



(11) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 11,5 Jahre
Z_2 = 136 Punkte



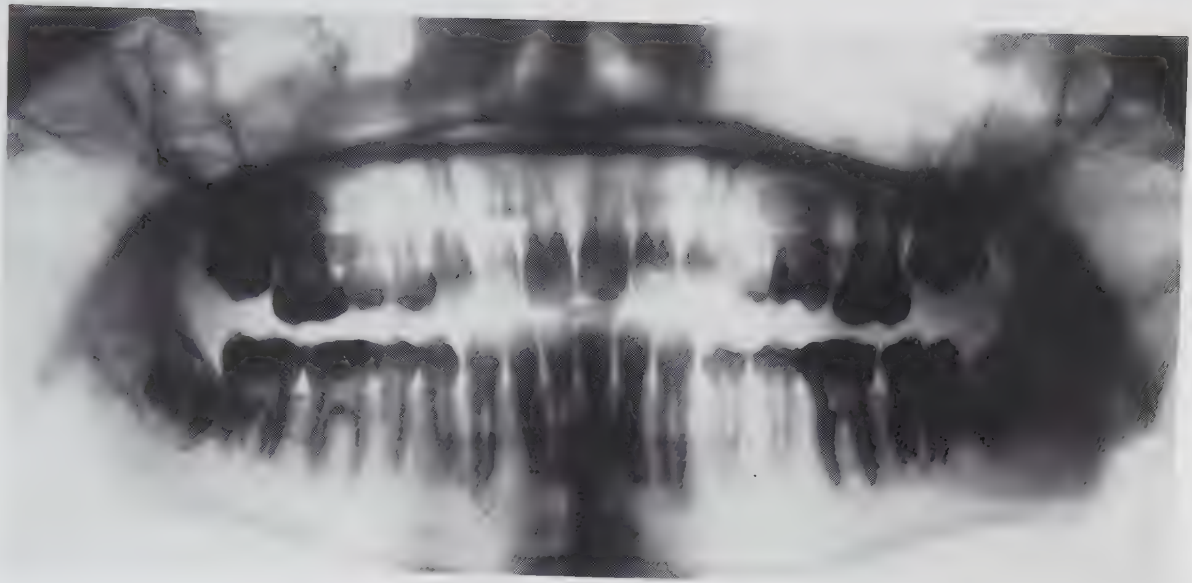
(14) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,7 Jahre Zahnalter: Z_1 = 12,8 Jahre
Z_2 = 134 Punkte



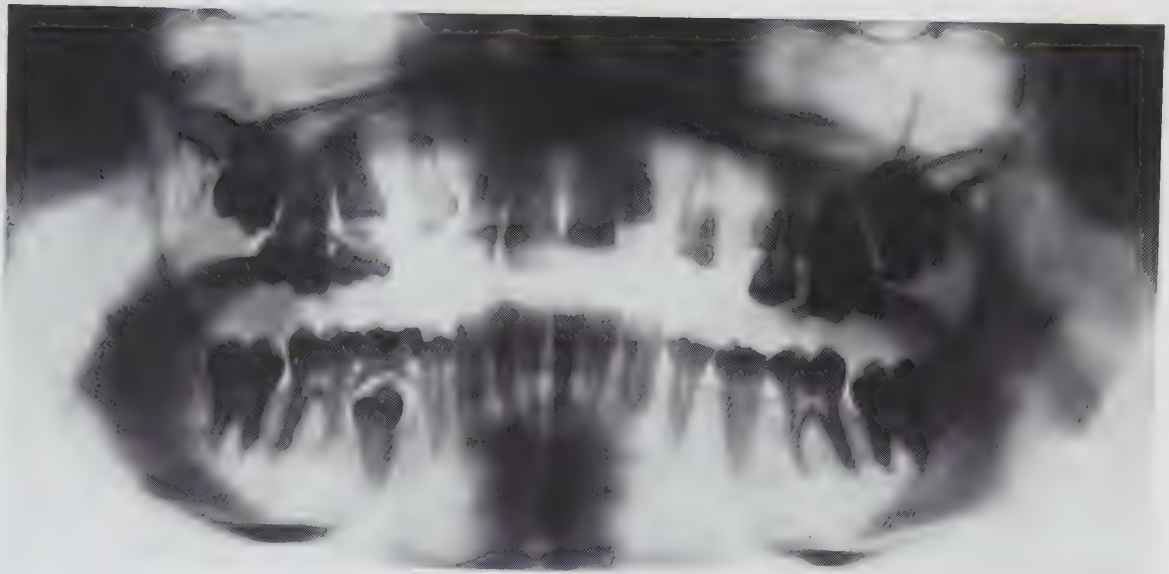
(15) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,2 Jahre Zahnalter: Z_1 = 12,0 Jahre
Z_2 = 126 Punkte

(16) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,3 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,6 Jahre
Z_2 = 136 Punkte

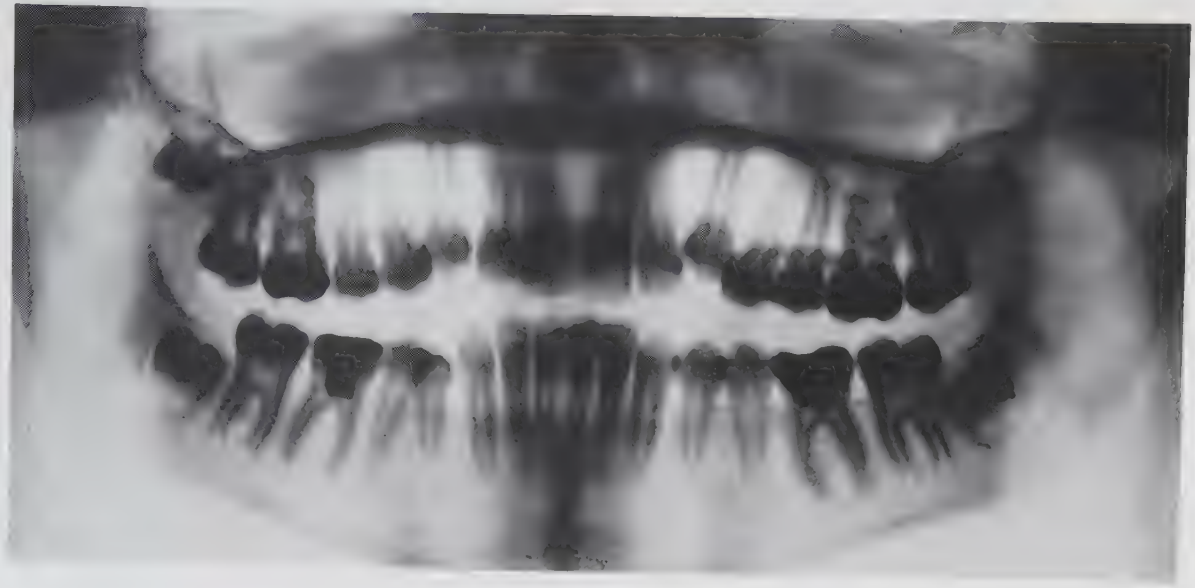
(17) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 10,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,6 Jahre
Z_2 = 131 Punkte



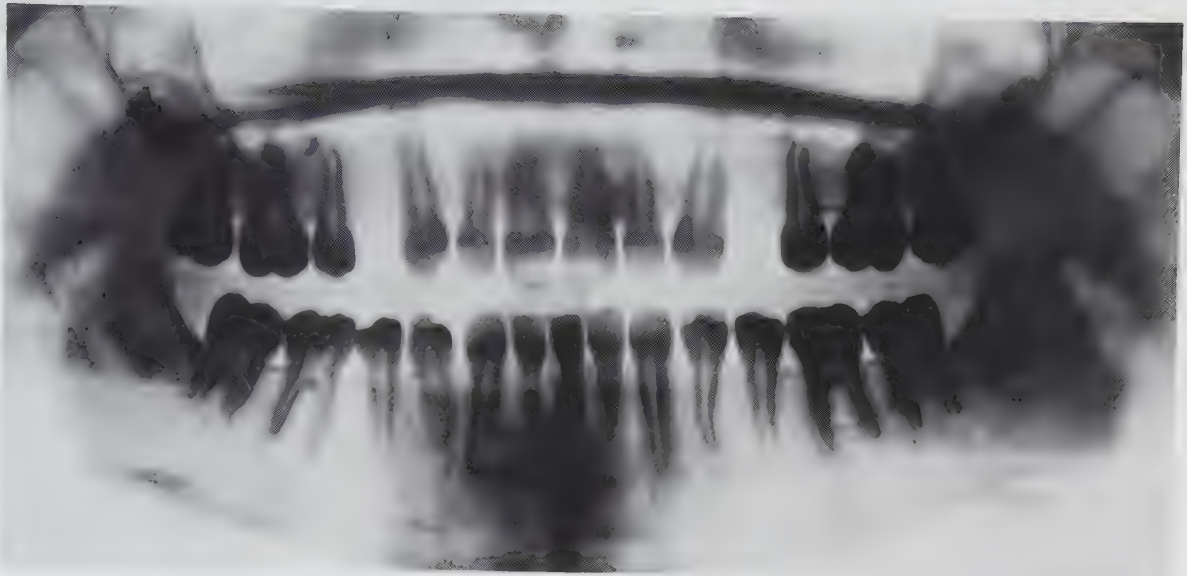
(18) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,1 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,7 Jahre
Z_2 = 134 Punkte



(19) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,1 Jahre
Z_2 = 132 Punkte



(20) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,7 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,7 Jahre
Z_2 = 134 Punkte

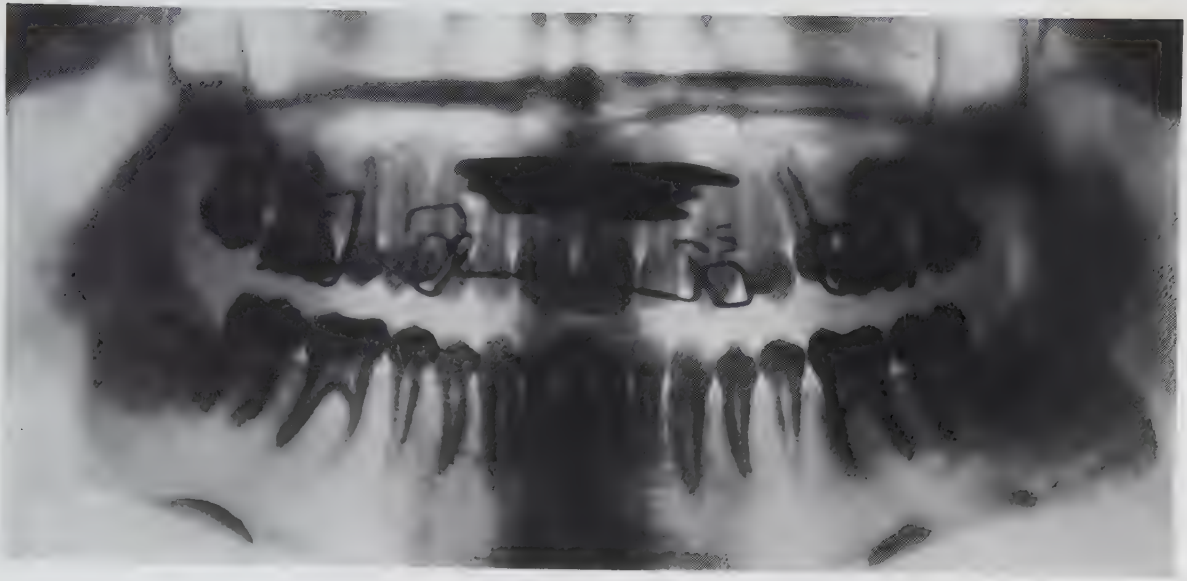


(21) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,3 Jahre

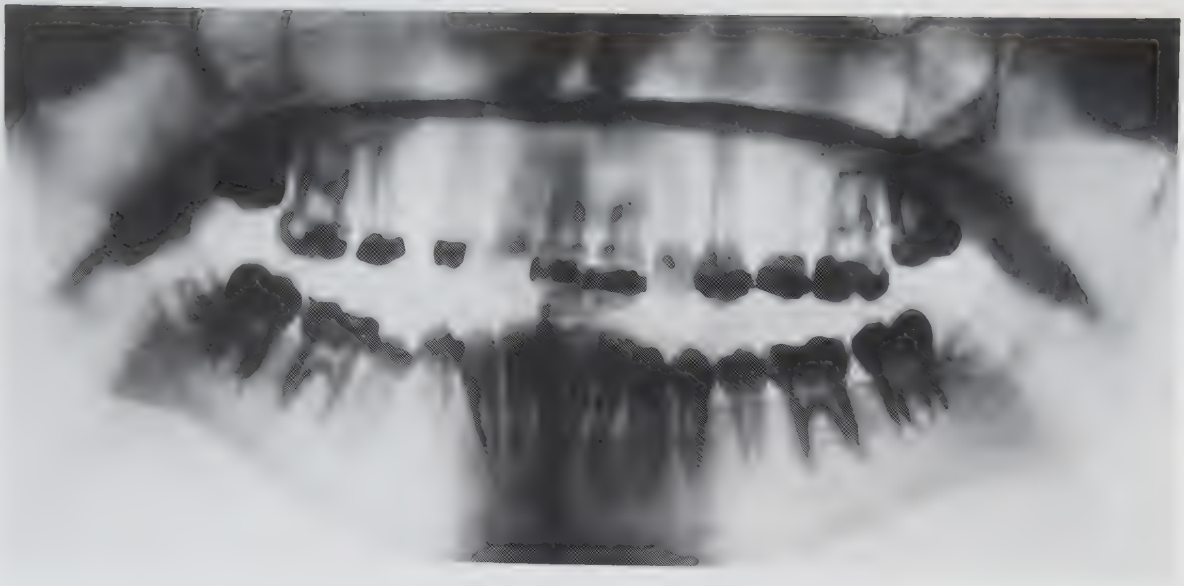
Z_2 = 133 Punkte

(22) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,3 Jahre

Z_2 = 135 Punkte

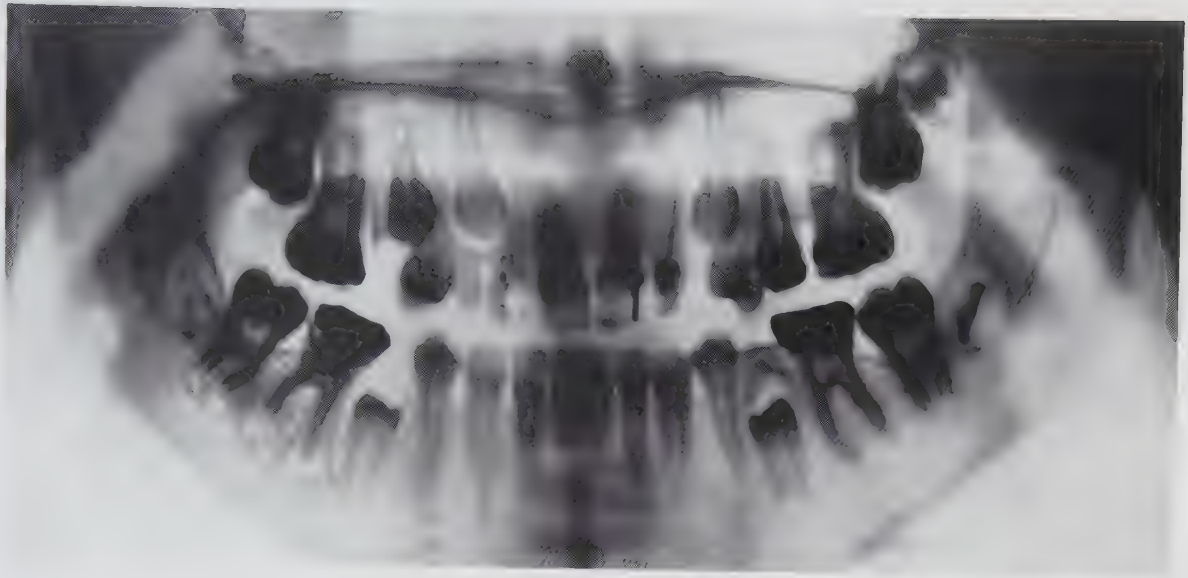


(23) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,7 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 130 Punkte

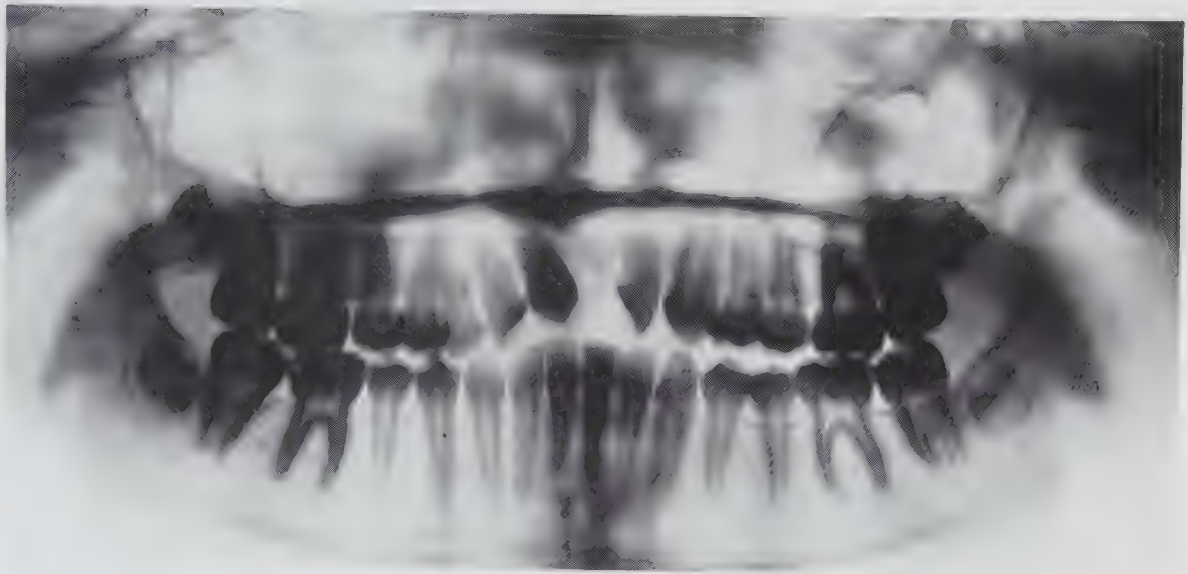


(24) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 13,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 139 Punkte

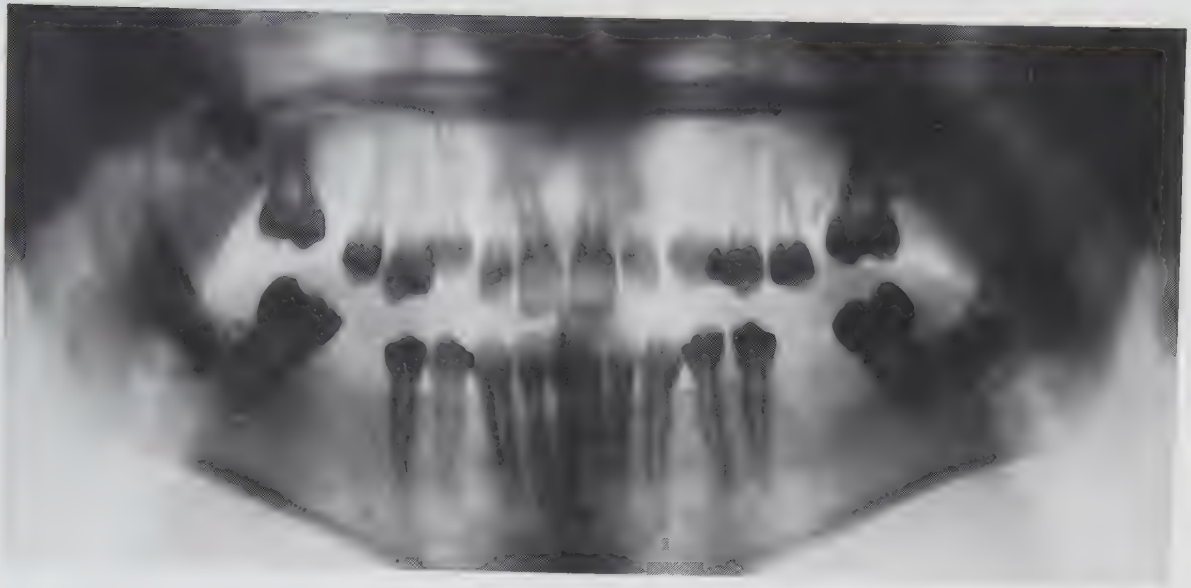
(25) ♀ Männchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,2 Jahre
Z_2 = 120 Punkte



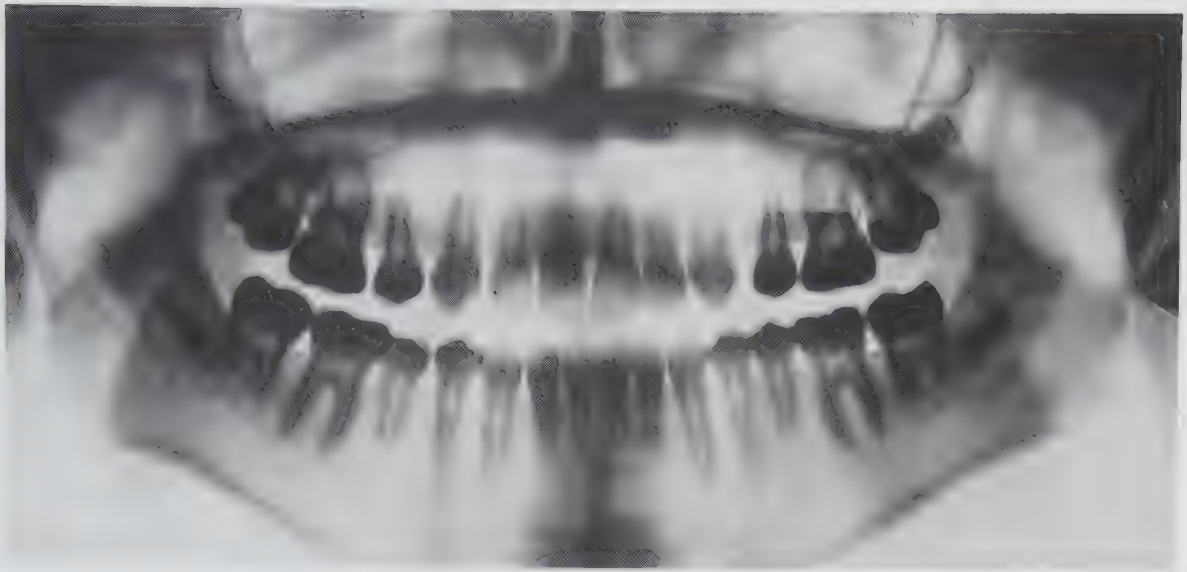
(25) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 12,6 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 132 Punkte



(27) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 13,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,3 Jahre
Z_2 = 134 Punkte

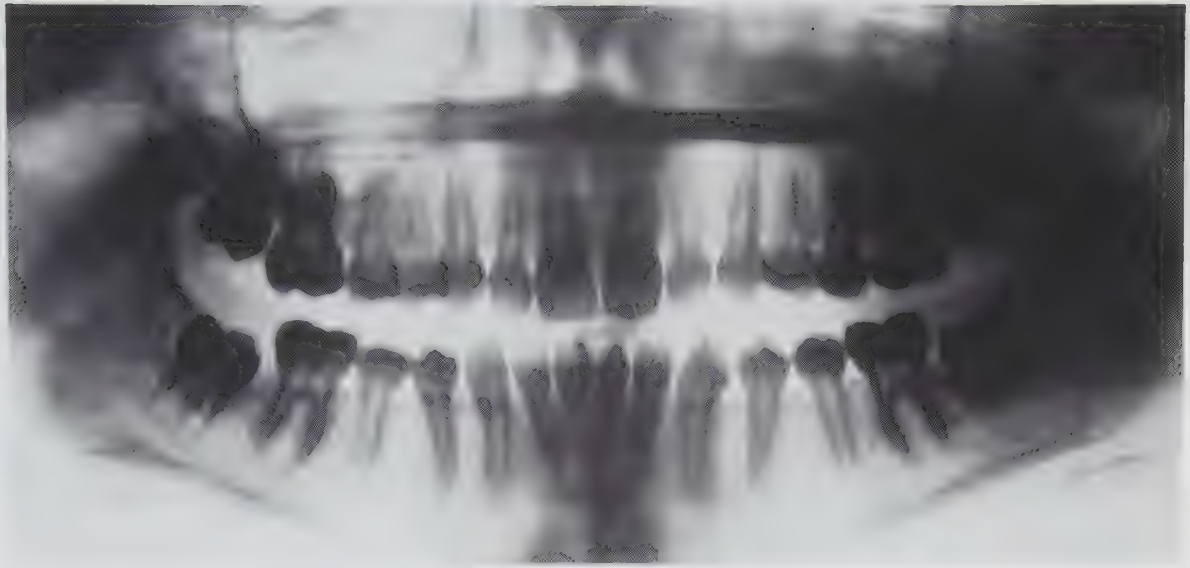


(2P) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 10,9 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 130 Punkte



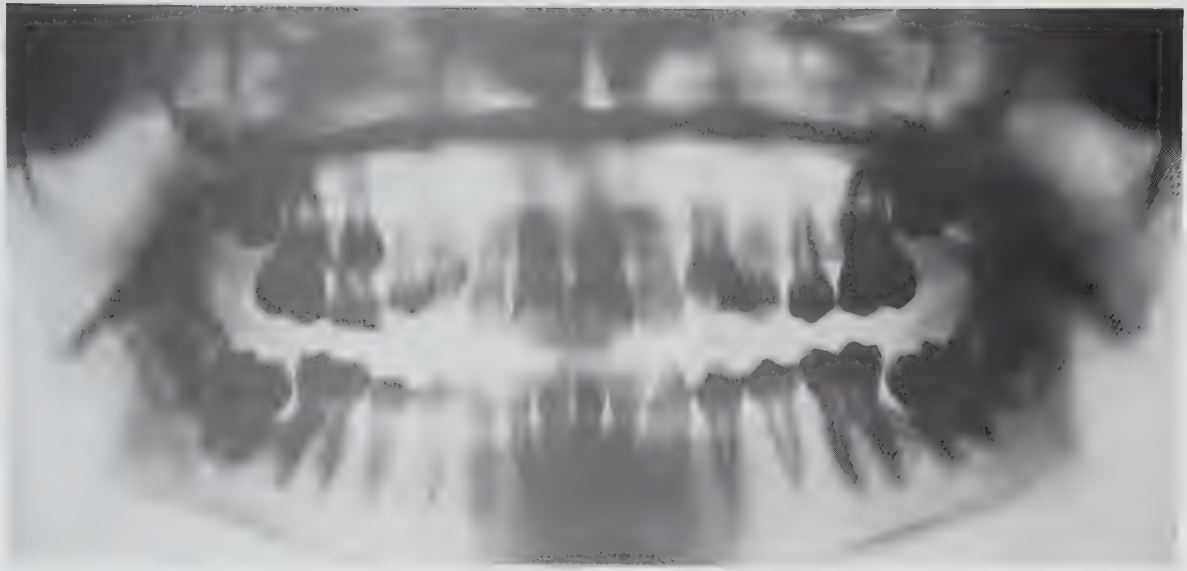
(29) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,9 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
C_1 = 135 Punkte

(30) ♀ Mädchen, 12 Jahre Skelettalter: S = 11,1 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 129 Punkte



(31) ♀ Mädchen, 17 Jahre [illegible]: S = 21,6 Jahre

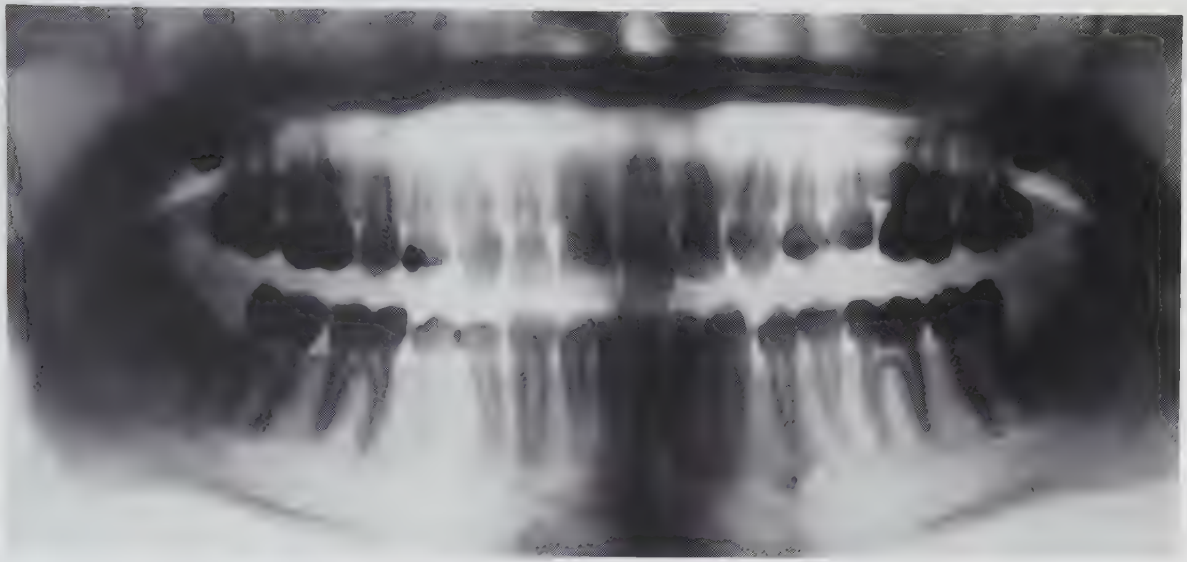
Zahnalter: Z_1 = 14,3 Jahre
Z_2 = 136 Punkte



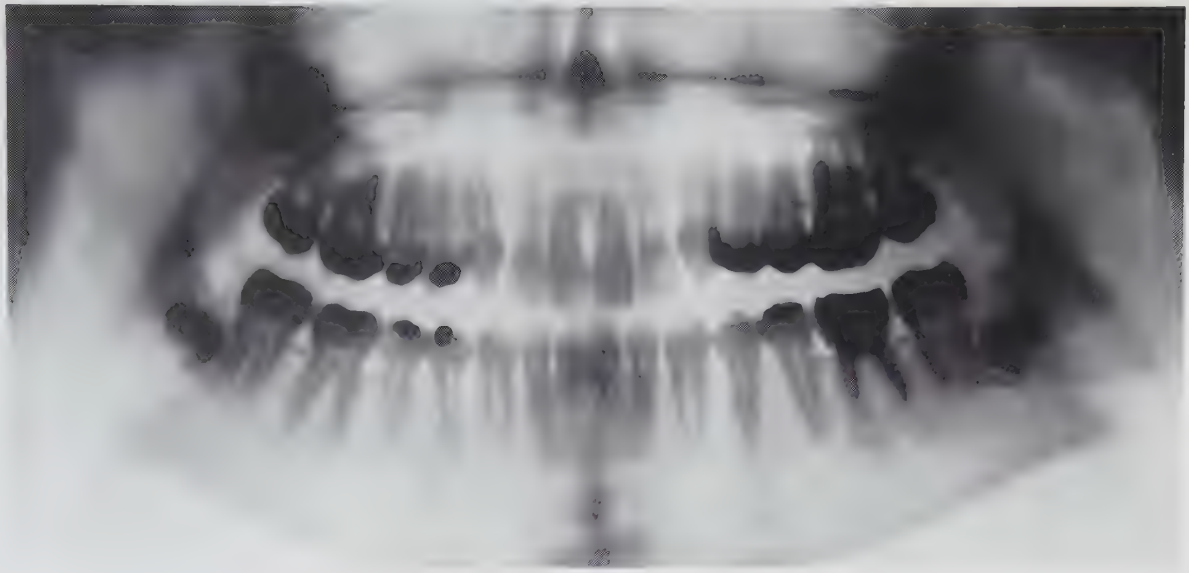
(32) ♀ Mädchen, [illegible]: Z_1 = 13,5 Jahre
Z_2 = 138 Punkte

(1) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 15,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,4 Jahre
Z_2 = 142 Punkte

(2) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_2 = 142 Punkte

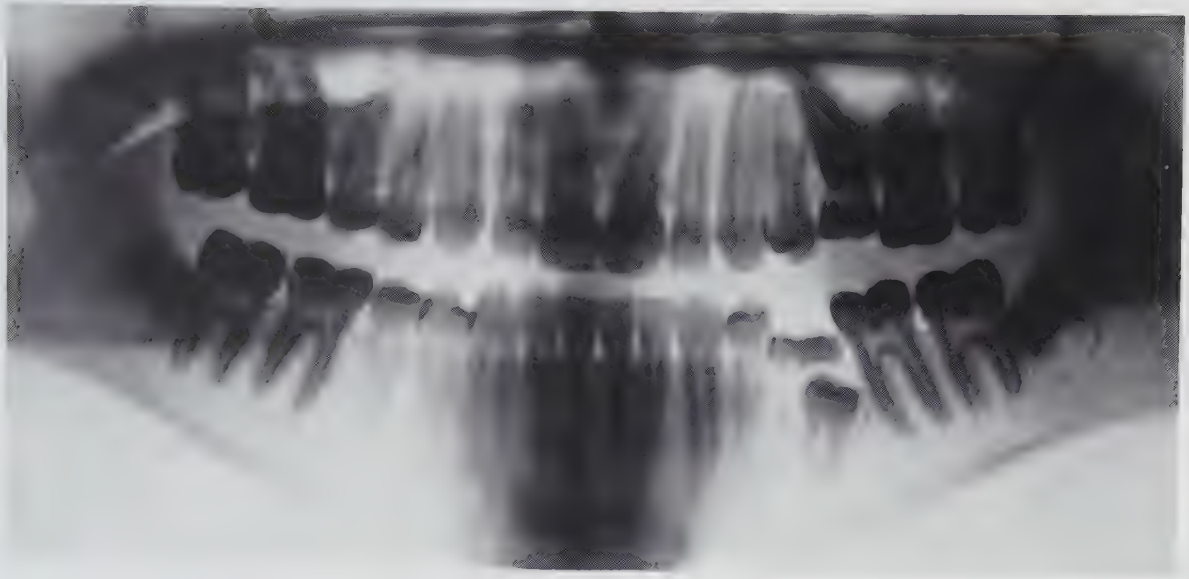


(3) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,2 Jahre Zahnalter: Z_1 = 18,0 Jahre
Z_2 = 144 Punkte

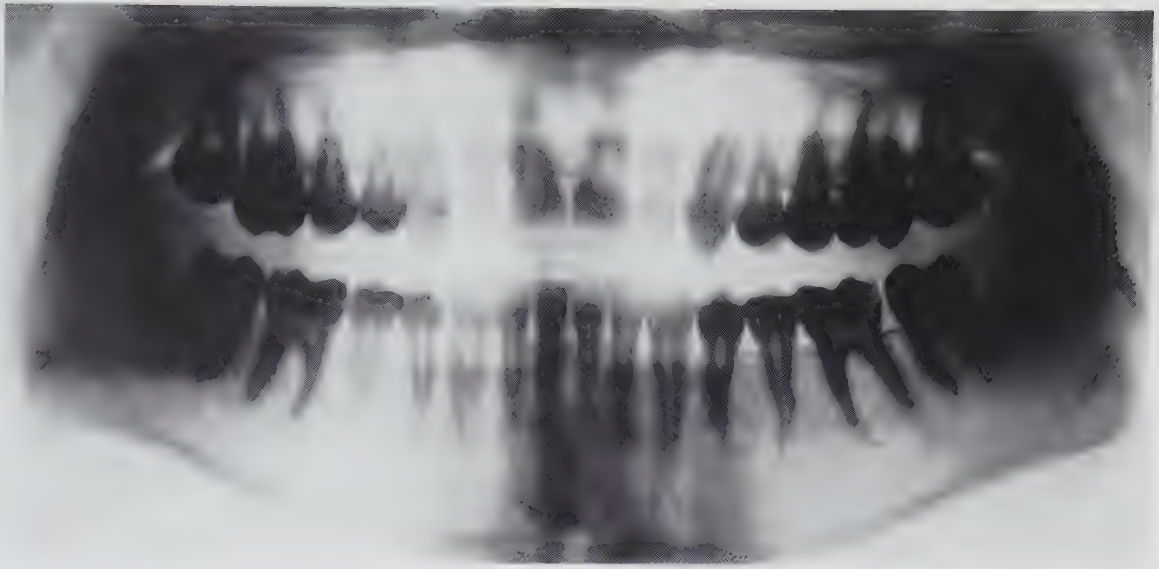


(4) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,0 Jahre

Z_2 = 132 Punkte

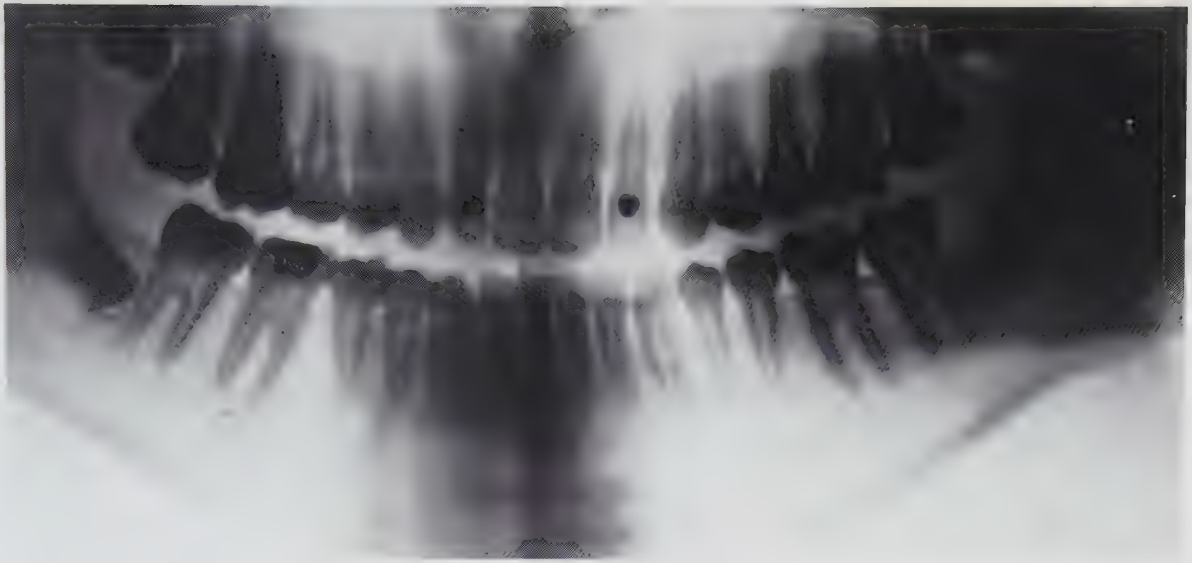


(5) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,3 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,2 Jahre
Z_2 = 139 Punkte

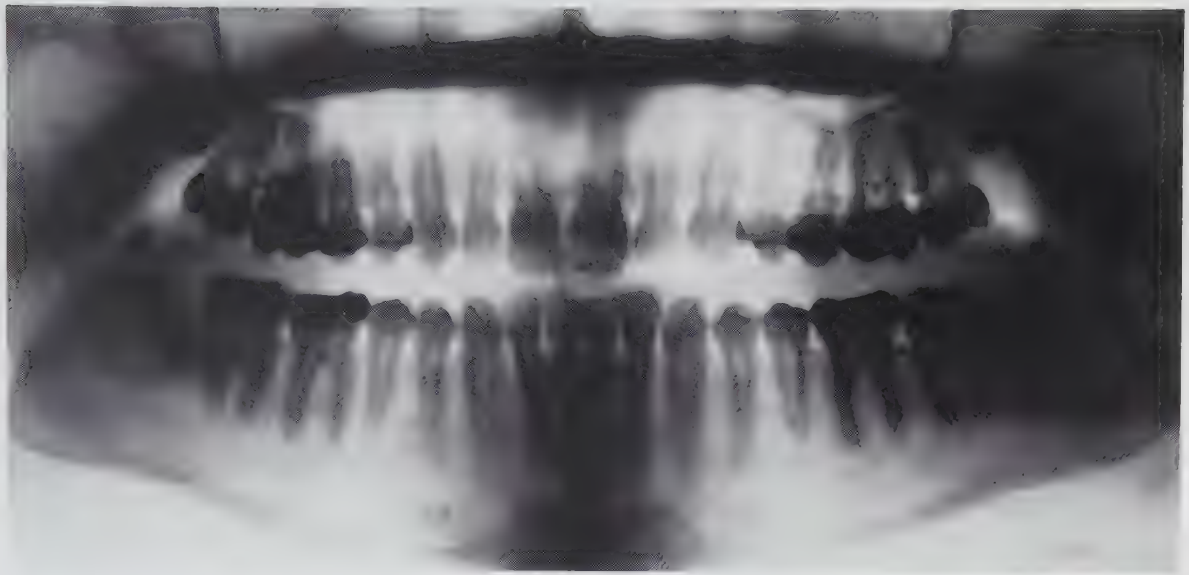


(6) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre

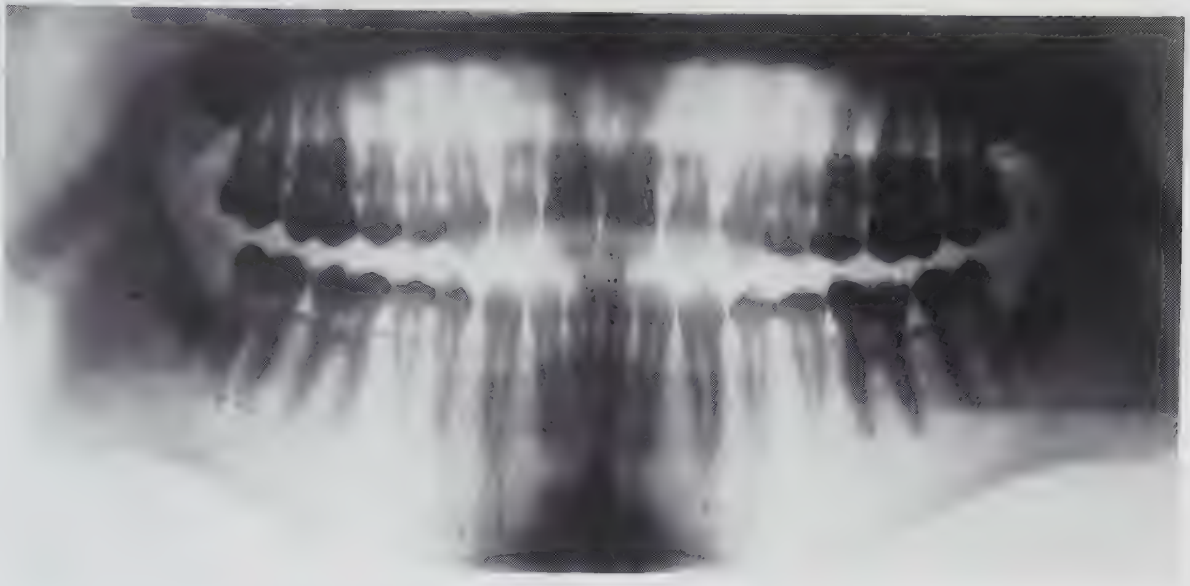
Z_2 = 144 Punkte



(7) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,1 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,8 Jahre
Z_2 = 144 Punkte

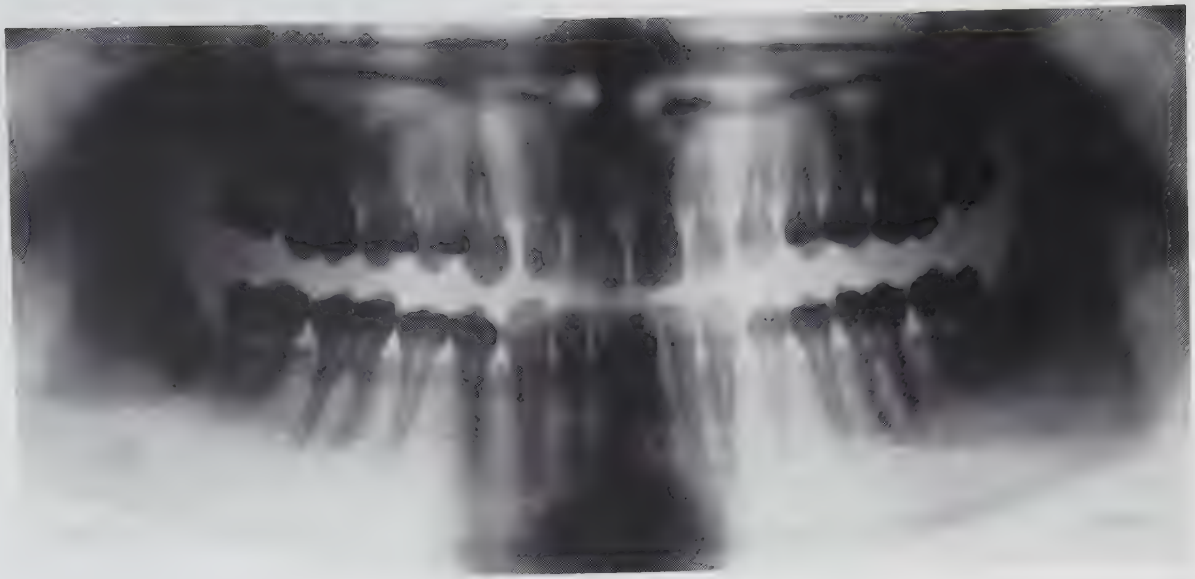


(B) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,8 Jahre
Z_2 = 142 Punkte

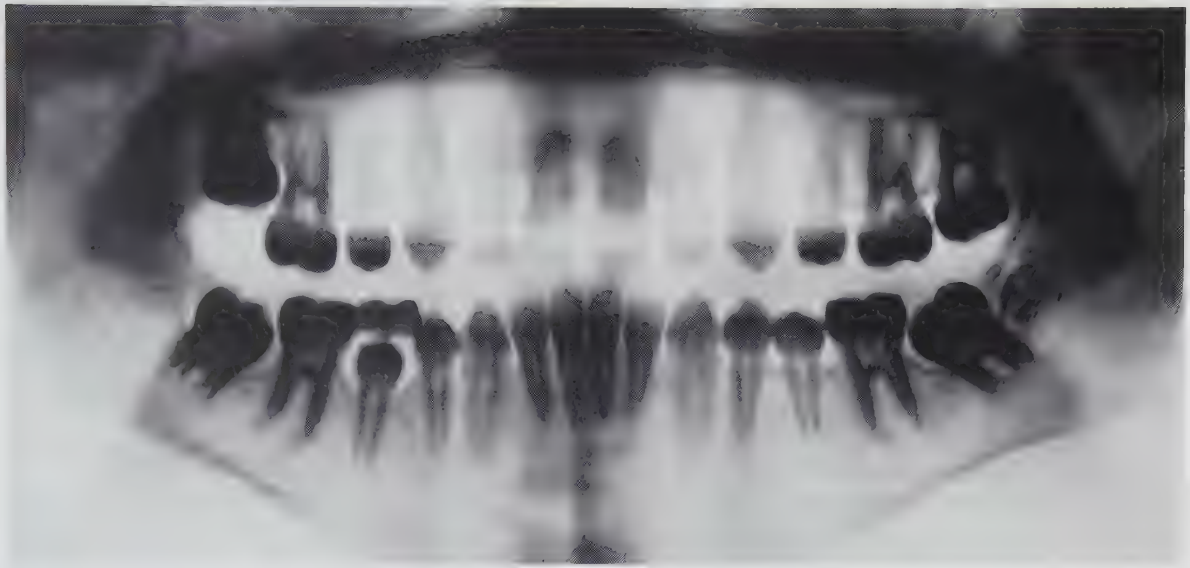


215

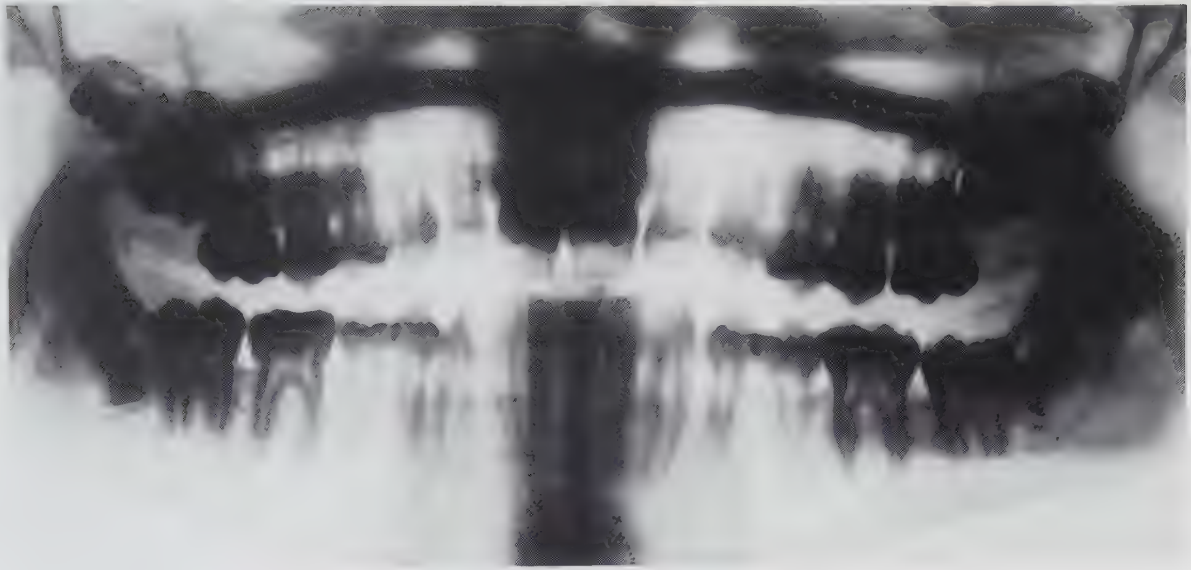
(9) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,7 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_2 = 144 Punkte



(10) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,2 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,4 Jahre
Z_2 = 126 Punkte

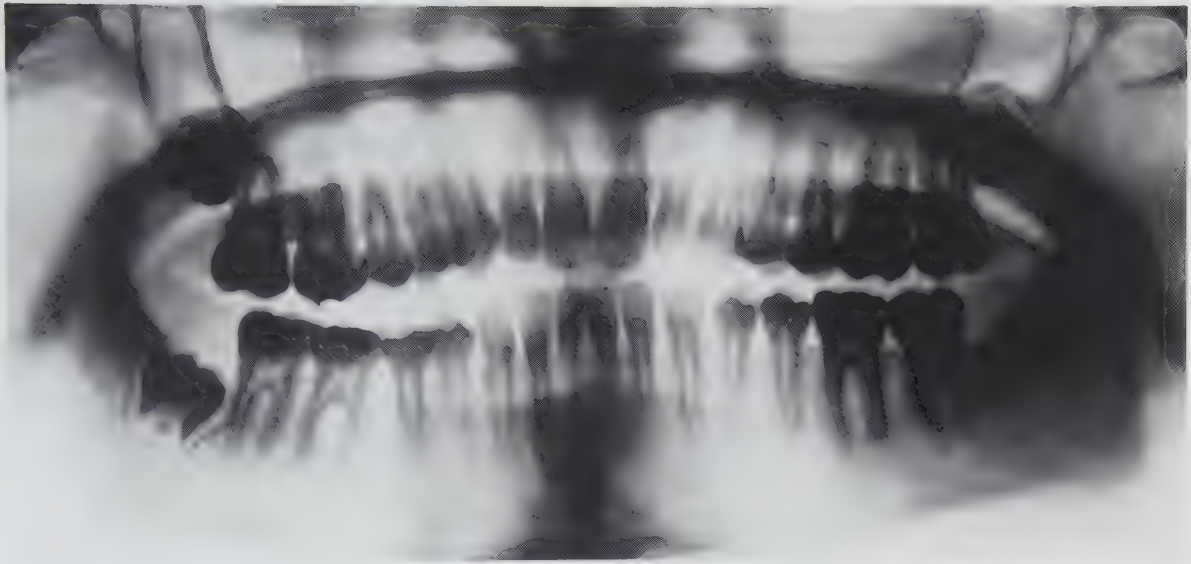


(11) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,3 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,4 Jahre
Z_2 = 135 Punkte



(12) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,4 Jahre Zahnalter: Z_J = 15,9 Jahre

Z_C = 145 Punkte

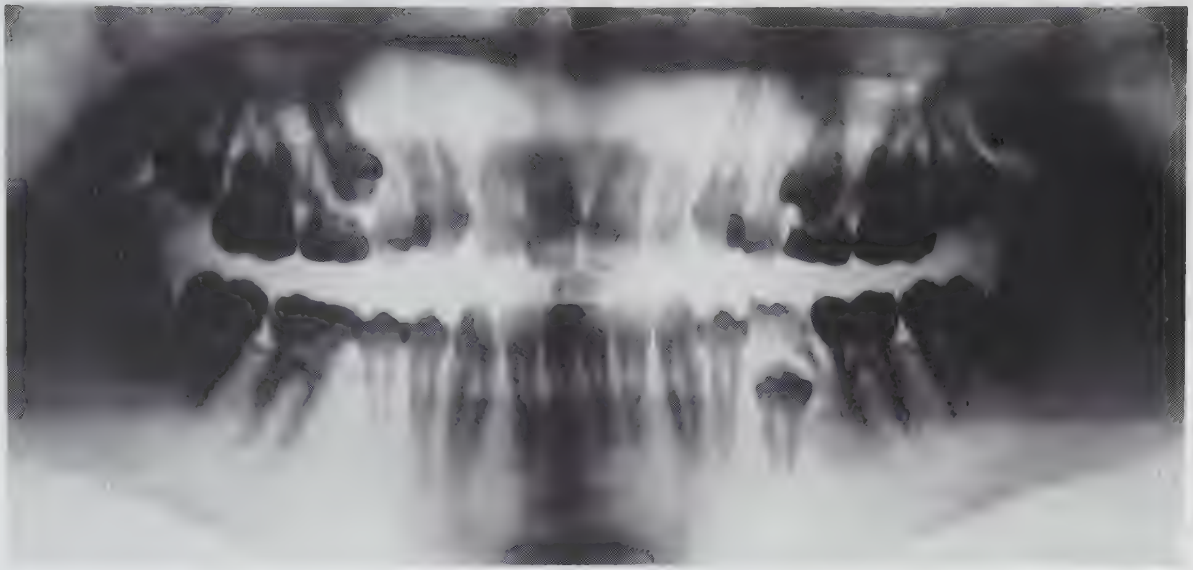


(13) ♂ Knabe, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,6 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_2 = 138 Punkte

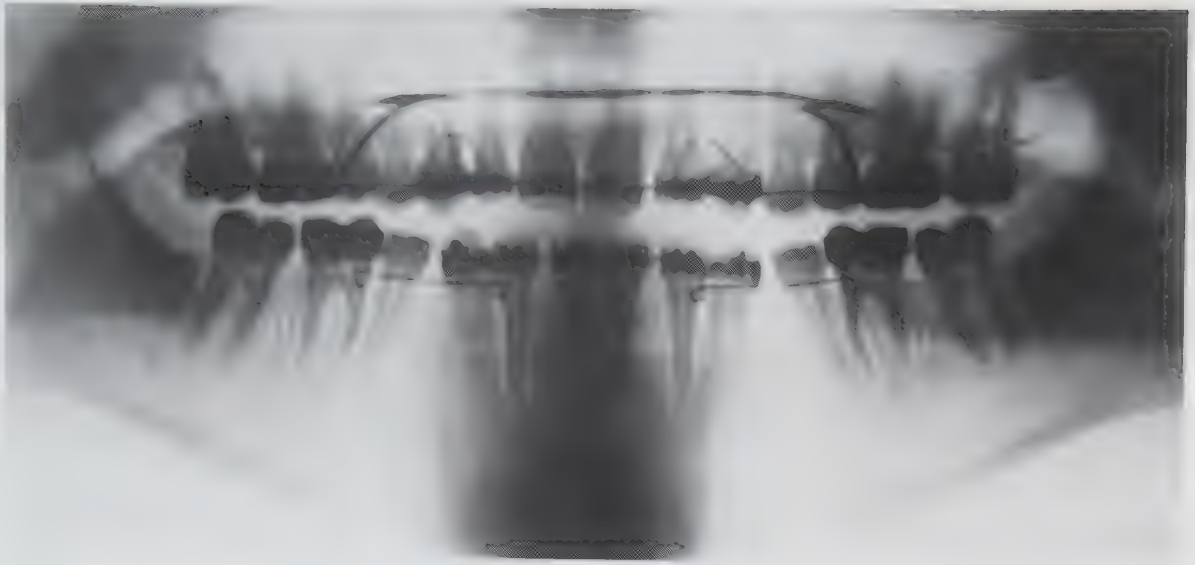
(14) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,9 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,7 Jahre
Z_2 = 134 Punkte

(15) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,1 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_2 = 140 Punkte

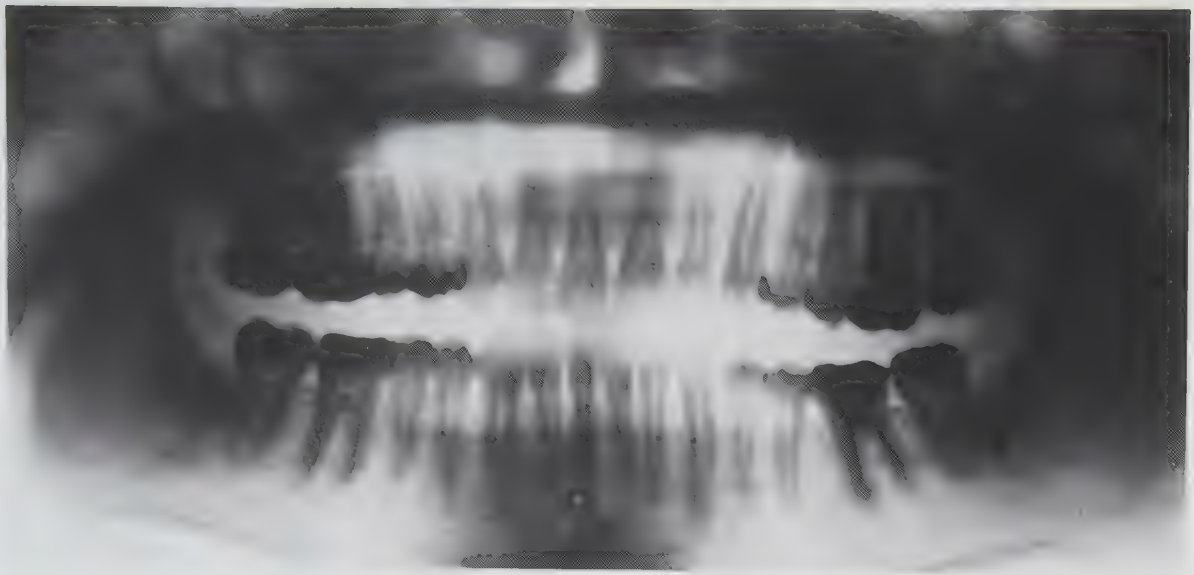
(15) ♂ Knabe, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,4 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,4 Jahre
Z_2 = 136 Punkte



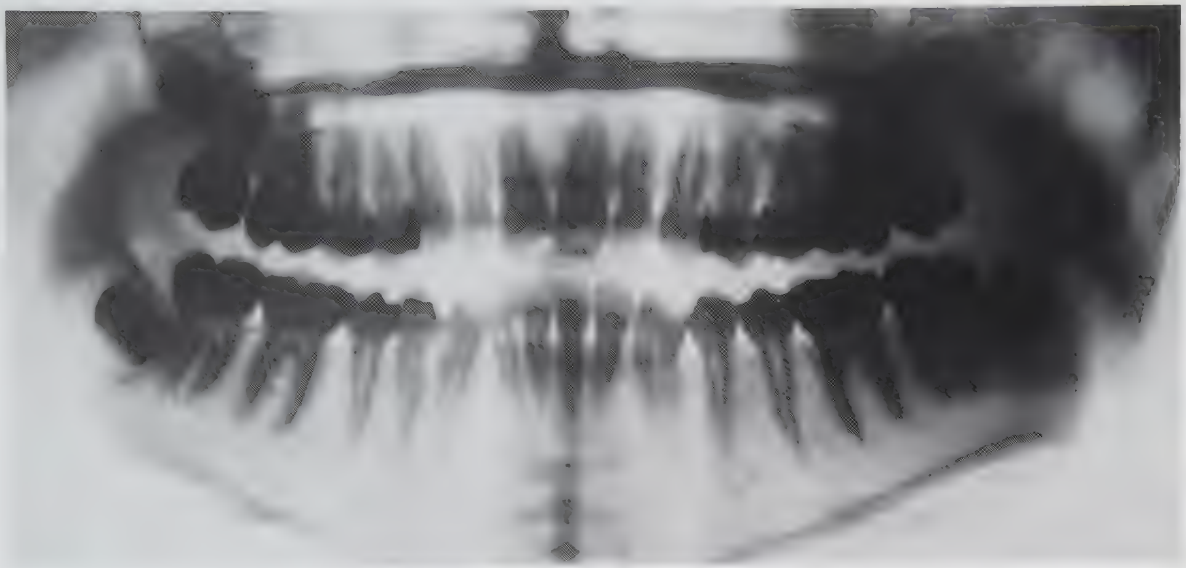
(17) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: 5 = 16,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 16,0 Jahre
Z_2 = 146 Punkte



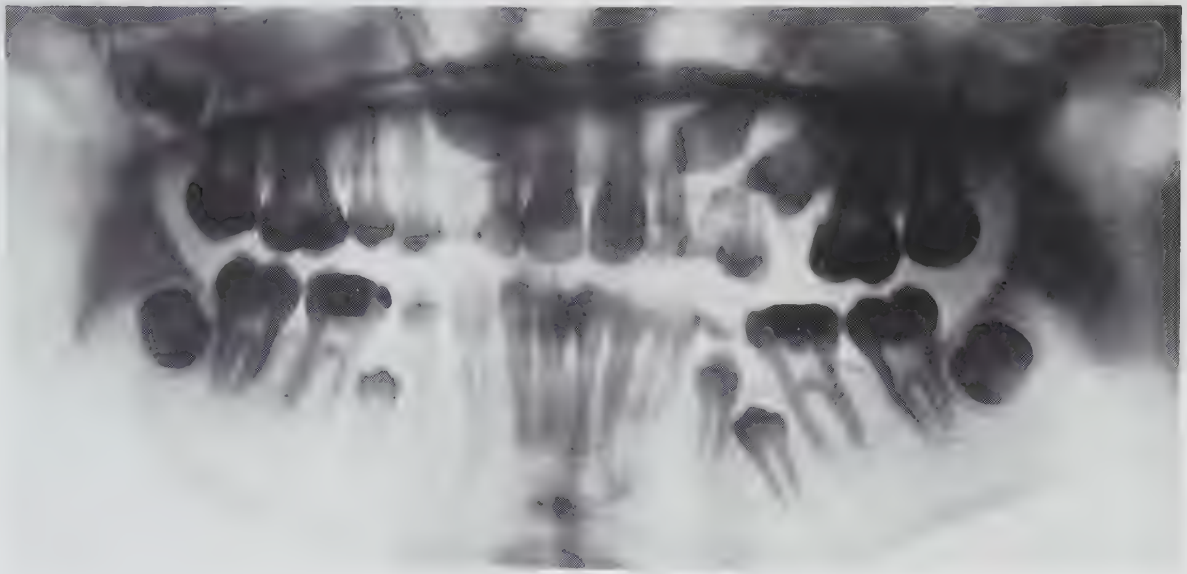
(18) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13 Jahre Gebissalter: $\bar{x}_1$ = 15,8 Jahre
$\bar{x}_2$ = 144 Punkte



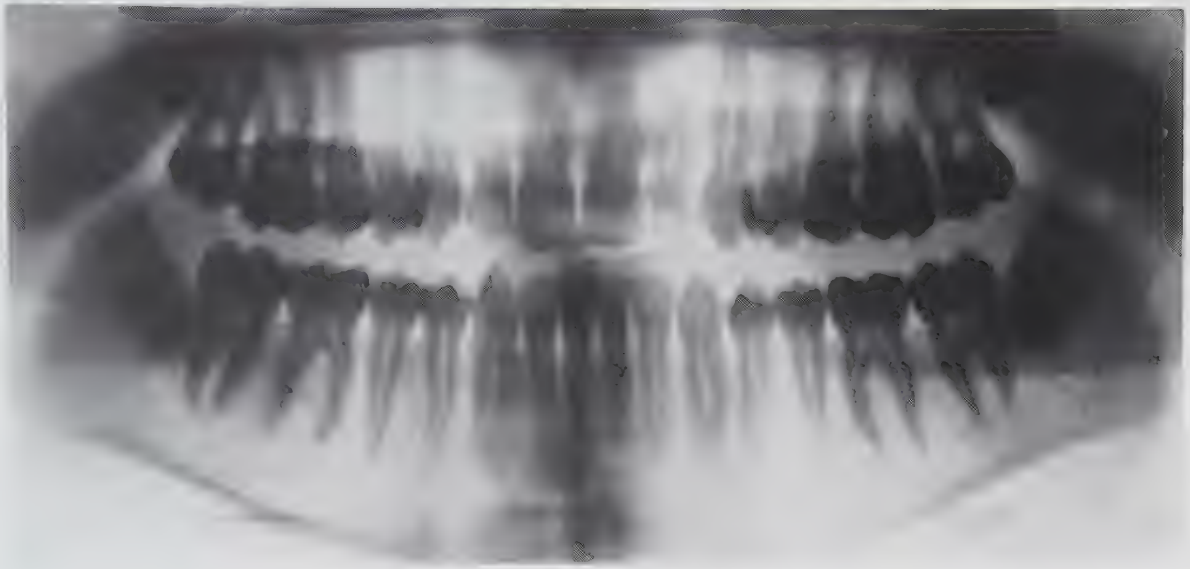
(19) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 11,9 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_2 = 143 Punkte



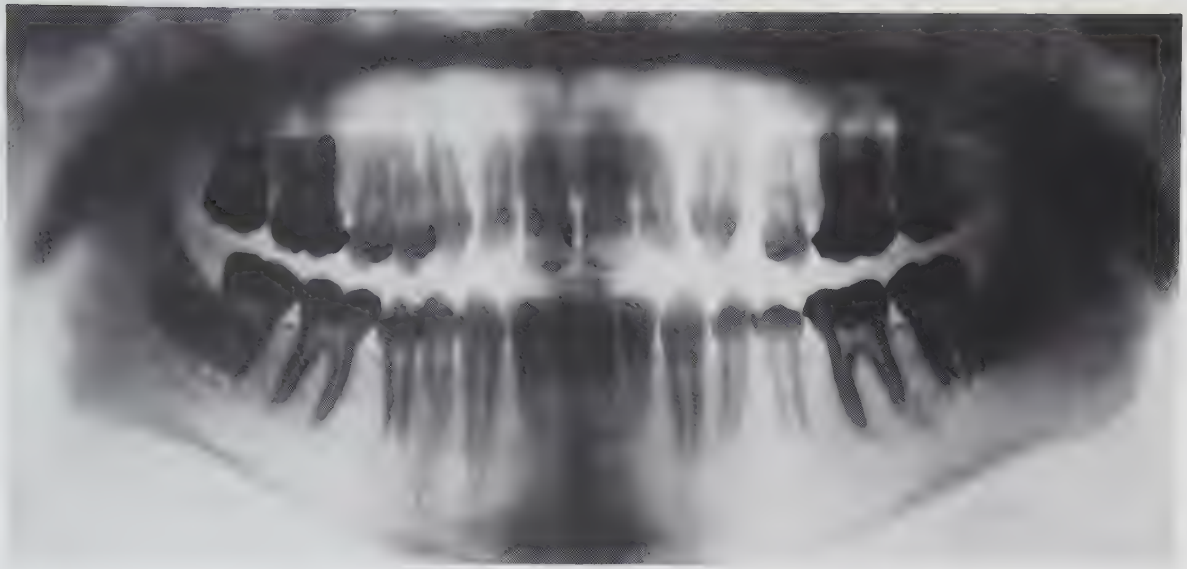
(2C) ♂ Knabe, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,7 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,2 Jahre
Z_2 = 131 Punkte



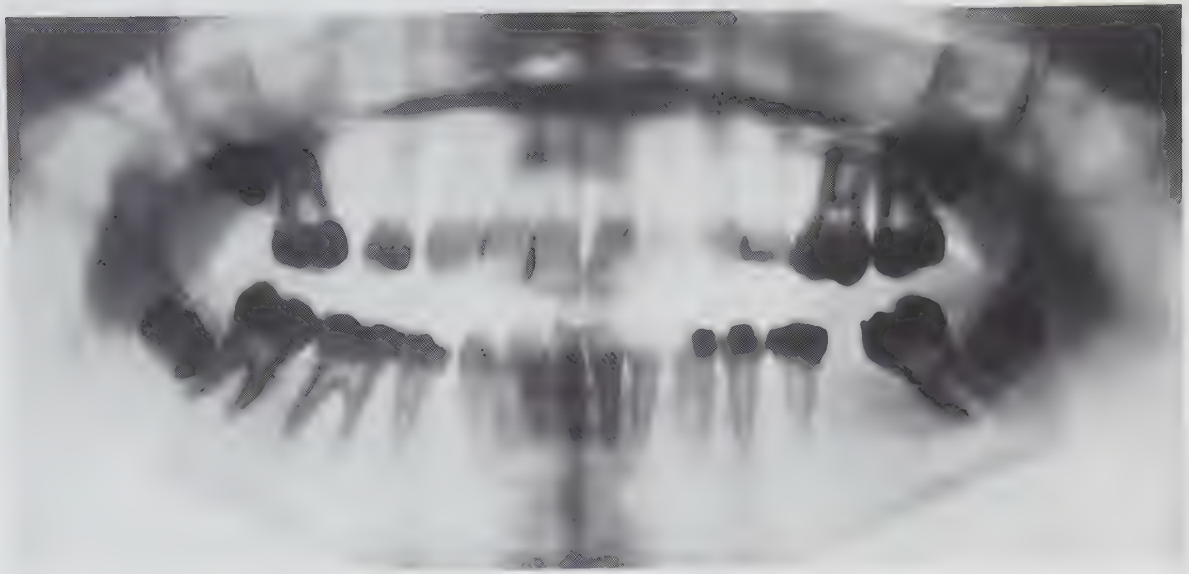
(21) ♂ Knabe, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 18,0 Jahre
Z_2 = 146 Punkte



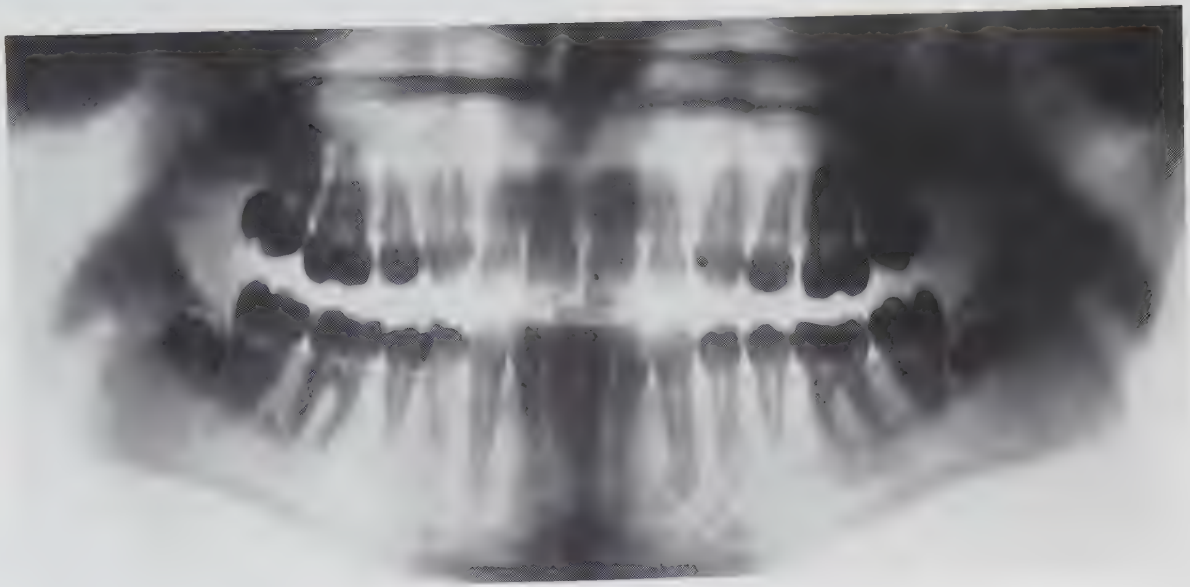
(22) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,0 Jahre Zahnalter: Z_1 = 13,2 Jahre
Z_2 = 134 Punkte



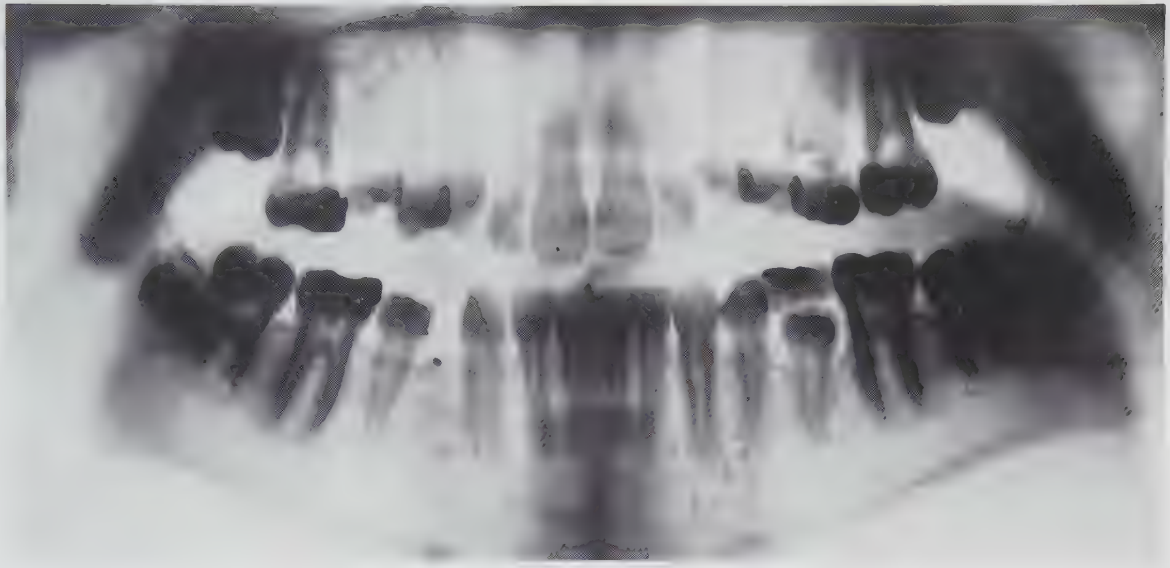
(23) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,0 Jahre Zahnalter: Z_1 = 18,0 Jahre
Z_2 = 143 Punkte



(24) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 18,0 Jahre
Z_2 = 143 Punkte



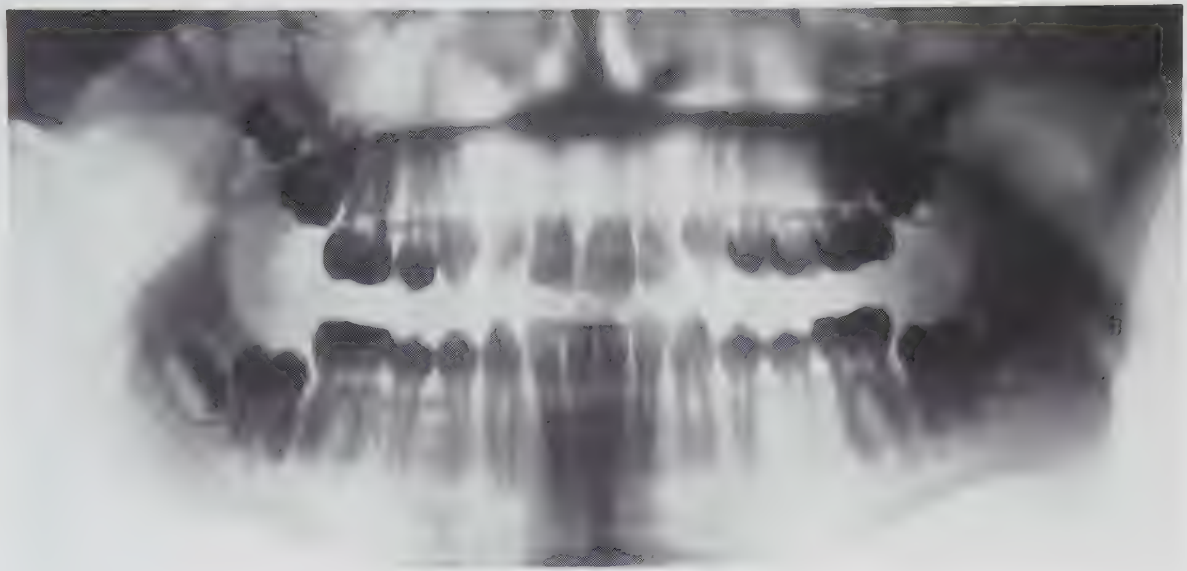
(25) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 14,0 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,7 Jahre
Z_2 = 135 Punkte



(26) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 17,0 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,0 Jahre

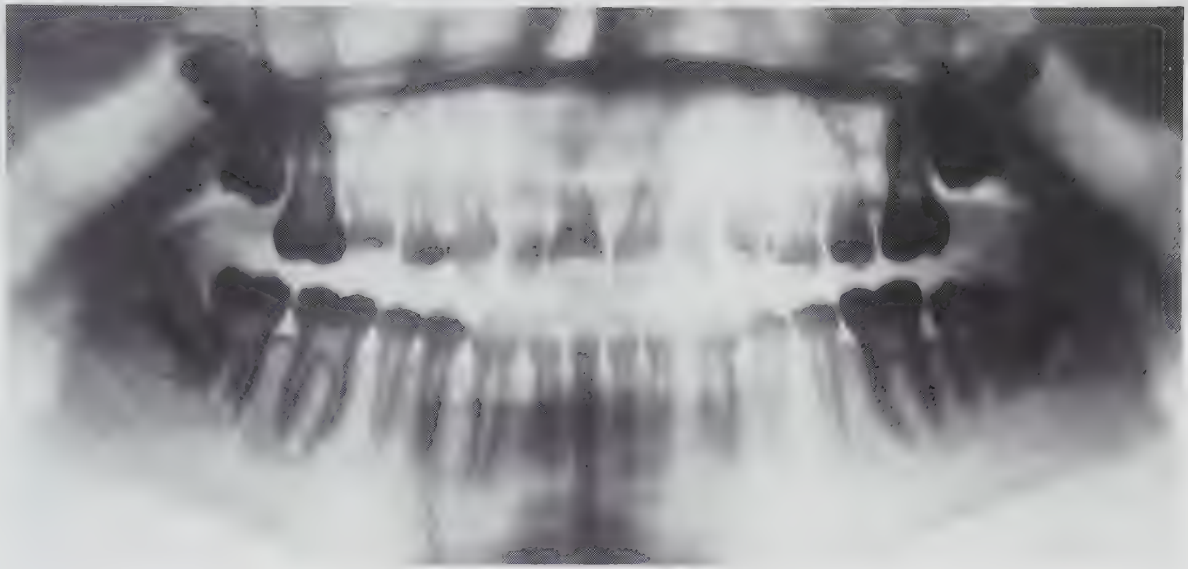
Z_2 = 14,1 Jahre

(27) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,6 Jahre Zahnalter: Z_1 = 14,7 Jahre
Z_2 = 132 Punkte

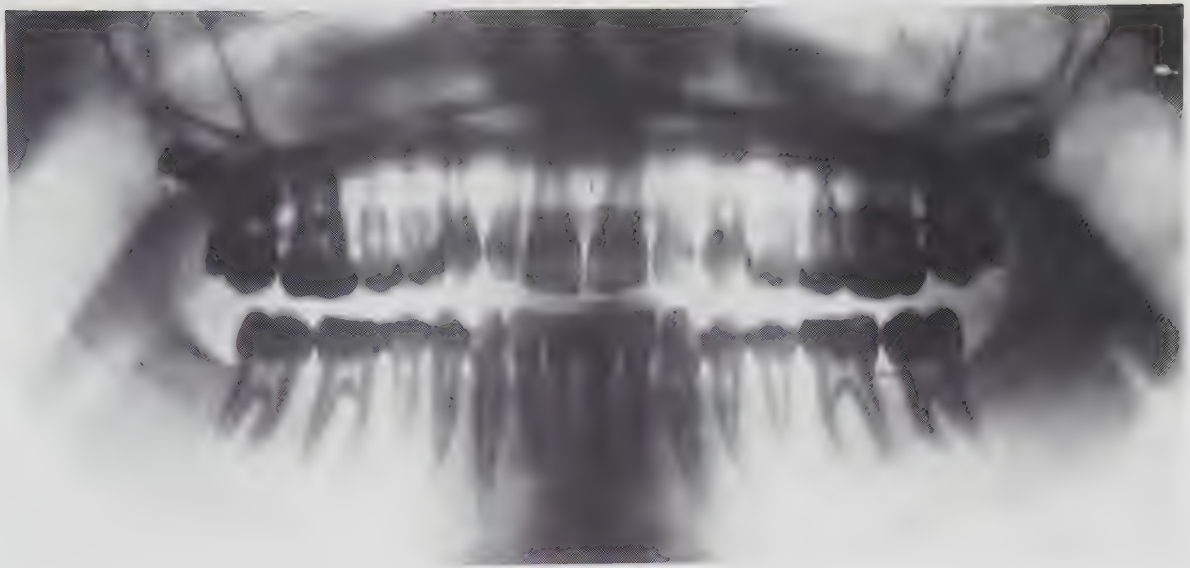


(28) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 12,8 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_j = 140 Punkte

(29) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: 5 - 12,5 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,8 Jahre
Z_2 = 135 Punkte



(30) ♂ Knaben, 14 Jahre Skelettalter: S = 13,2 Jahre Zahnalter: Z_1 = 15,6 Jahre
Z_2 = 139 Punkte



Frau PROFESSOR DR. DOROTHEA DAUSCH-NEUMANN
Ärztlicher Direktor der Abteilung Kieferorthopädie
des ZENTRUMS FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERHEILKUNDE
der UNIVERSITÄT TÜBINGEN,

danke ich sehr für die Überlassung des Themas
und die Unterstützung bei dieser Arbeit.

Lebenslauf

Am 25. Mai 1952 wurde ich, Hans-Dieter Gönner, als Sohn des Studiendirektors Hans Gönner und seiner Ehefrau Irene geb. Dürr in Karlsruhe geboren.

Von 1959 bis 1963 besuchte ich die Grundschule in Pforzheim, von 1963 bis 1971 das dortige Hebel-Gymnasium. Am 15. Juni 1971 legte ich an dieser Anstalt die Reifeprüfung ab.

Im Wintersemester 1971 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Eberhard-Karls-Universität in Tübingen. Die zahnärztliche Vorprüfung legte ich im April 1974 in Tübingen ab. Nach der zahnärztlichen Prüfung am 1. Dezember 1976 erhielt ich die Bestallung als Zahnarzt durch das Land Baden-Württemberg.

Mit Beginn des Sommersemesters 1977 nahm ich als Zweitstudium das Studium der Medizin an der Universität Göttingen auf.